

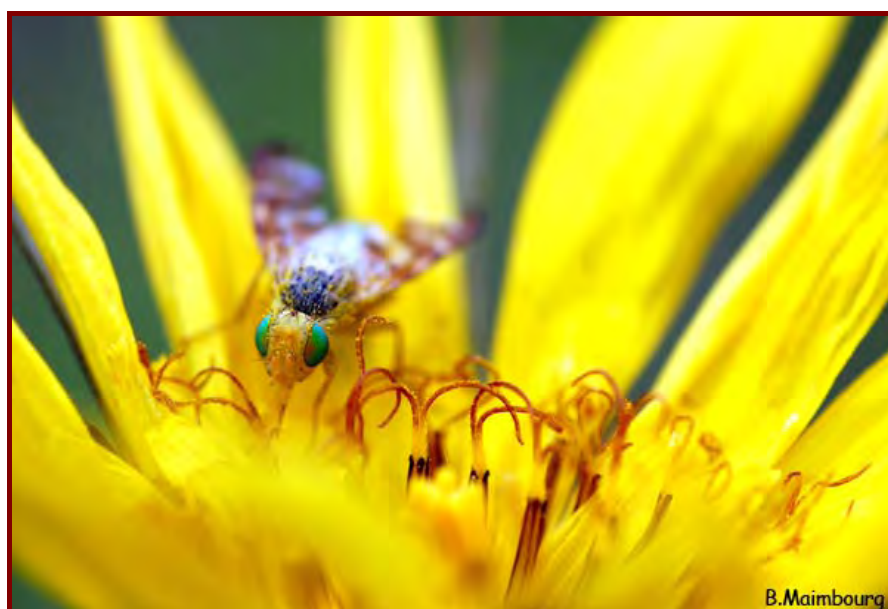


Rapport de stage

Master Sciences – Technologies - Santé
Mention Agroproduction et Environnement
Spécialité Ecosystèmes, Agrosystèmes et Développement
Durable (EADD)



GAMME DE PLANTES-HOTES ET SPECIFICITE CHEZ LES MOUCHES DES FRUITS ET LEGUMES (DIPTERA : TEPHRITIDAE) NUISIBLES A L'ILE DE LA REUNION



Par **Christopher WATTIER**

Encadrant : **Serge QUILICI ***

* Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (**CIRAD**) UMR 53
PVBMT, Station de Ligne Paradis, 7 Chemin de l'IRAT, 97410 Saint-Pierre, Ile de La Réunion

☎ : 02 62 49 92 40 ✉ : serge.quilici@cirad.fr

Université de Picardie Jules Verne
Semestre 4 - année 2008/2009

Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier Serge QUILICI pour m'avoir permis d'effectuer ce stage au sein du Pôle de Protection des Plantes et pour m'avoir conseillé, guidé et soutenu tout au long de mon stage, ainsi que Jean-Philippe DEGUINE pour avoir proposé ma candidature, pour sa gentillesse, son soutien constant et ses discussions sur la Picardie.

Je tiens à dire un grand merci :

A Jim, pour son aide précieuse et ses talents mis à disposition afin d'obtenir les larves L1 que j'utilisais (elle est efficace ta méthode de séduction en petite tenue !) et surtout pour m'avoir permis d'obtenir mes fruits (vive le badamier !) tout en me faisant visiter par exemple la route des larves☺.

A Cathy, ma doctorante « number one », mon amie, pour m'avoir soutenu, aidé et conseillé tout au long de mon stage. Bon courage à toi pour la suite ☺

A Sylvaine, pour son aide inestimable apportée au traitement des mes données, à l'élaboration des graphs et des tests statistiques... Un Grand Merci à toi.

A Romuald, pour ses conseils et les délires que l'on a eu en tant que voisins de box, à Lise, Toulassi, Thomas et Karine, pour leur sympathie, leurs sourires et pour tous les bons moments passés ensemble (ne chercher plus après le poulet), ainsi qu' Anabel, Chloé et Rodolphe.

A Serge pour sa contribution à l'entretien des élevages, à Antoine pour ses photos d'insectes, à Moutou, Martial, Lulu, Hélène, Océane pour leur bonne humeur.

A Amélie, Julie et Aline pour les bons repas et les grandes discussions que l'on a eu, ainsi que pour leur soutien et leur gentillesse.

A mes colocs Séb, Marie, Anne-So et bien sûr Mathieu pour m'avoir supporté, pour avoir pris soin de moi quand j'étais malade (spéciale dédicace à Séb) et pour tous les moments que l'on a partagé ensemble.

A Aurélie mon amie d'enfance, Any et Dimy, sans qui tout aurait été différent.

Sommaire

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	3
1. LE CIRAD DANS LE MONDE	3
2. LE CIRAD A LA REUNION	4
3. LE POLE DE PROTECTION DES PLANTES	4
4. LE LABORATOIRE D'ECOLOGIE TERRESTRE ET DE LUTTE INTEGREE	5
CHAPITRE II. MEMOIRE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
1. L'ILE DE LA REUNION	6
2. LES MOUCHES DES FRUITS ET DES LEGUMES	8
3. RELATIONS INSECTE-PLANTE	12
4. DEVELOPPEMENT PRE-IMAGINAL DES TEPHRITIDAE	15
5. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE	18
CHAPITRE III. MEMOIRE DE STAGE.....	20
1. MATERIELS ET METHODES	20
2. RESULTATS	30
3. DISCUSSION	41
CHAPITRE IV. BILAN PERSONNEL	46
1. DIFFICULTES RENCONTREES	46
2. SI C'ETAIT A REFAIRE	46
3. COTE POSITIF	47
CONCLUSION	48
BIBLIOGRAPHIE	50
GLOSSAIRE.....	54
ANNEXES	55
TABLE DES FIGURES	71
TABLE DES MATIERES.....	73
CONVENTION DE STAGE.....	75

Introduction

Le règne des Plantes et la classe des Insectes représentent deux taxons d'organismes vivants très étendus, aussi bien en terme d'abondance en espèces (Insectes) que de quantité de biomasse (Schoonhoven *et al.*, 1998). Selon quelques estimations récentes, le nombre total d'espèces d'insectes est considérablement plus important que l'on ne le pense et pourrait atteindre les 10 millions d'espèces (Pimm *et al.*, 1995). Les études sur les relations entre insectes et plantes sont d'une importance cruciale en agriculture, notamment d'un point de vue appliqué, puisque les insectes restent les principaux organismes nuisibles aux cultures, malgré des mesures de contrôle coûteuses et pas toujours respectueuses de l'environnement (Schoonhoven *et al.*, 1998).

Les Mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) causent d'importants dommages sur les cultures fruitières et maraîchères dans la plupart des pays tropicaux (White & Elson-Harris, 1992). La famille des Tephritidae comportent environ 4000 espèces (White & Elson-Harris, 1992), chacune avec une gamme de plantes-hôtes plus ou moins large : certaines sont très spécifiques, oligophages*, comme la Mouche de l'olive (*Bactrocera oleae* (Gmelin)) tandis que d'autres sont généralistes, polyphages*, pouvant se développer sur de nombreuses plantes-hôtes, comme la Mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata* (Wiedmann)). Des études ont montré, chez différents groupes d'insectes (Lepidoptera), que les larves montrent parfois des taux de survie importants sur des plantes-hôtes non choisies habituellement par la femelle pour l'oviposition (Wiklund, 1975). Chez les Tephritidae, cette question a été abordée uniquement sur quelques espèces importantes économiquement comme *Ceratitis capitata* (Wiedmann) (Fernandes-da-Silva & Zucoloto, 1993 ; Duyck *et al.*, 2008).

Les Mouches des fruits représentent les principaux ravageurs des cultures à l'île de La Réunion, où sept espèces d'importance économique sont présentes (Duyck & Quilici, 2002). Trois espèces sont considérées comme oligophages, s'attaquant aux cultures maraîchères: la Mouche de la tomate (*Neoceratitis cyanescens*), la Mouche des Cucurbitaceae de l'Océan Indien (*Dacus demmerezi*) et la Mouche du melon (*Bactrocera cucurbitae*). Les quatre autres espèces sont polyphages, s'attaquant aux cultures fruitières : la Mouche de la pêche

* Par la suite, les mots suivis d'un astérisque sont définis dans le glossaire.

(*Bactrocera zonata*), la Mouche méditerranéenne des fruits, la Mouche des Mascareignes (*Ceratitis catovrii*) et la Mouche du Natal (*Ceratitis rosa*) Cette étude, réalisée au Pôle de Protection des Plantes de Saint-Pierre, vise à analyser le développement larvaire de ces espèces d'importance économique, sur cinq fruits-hôtes ou non-hôtes (la mangue, la tomate, la goyave, le badamier et la courgette). Les larves de Tephritidae peuvent-elles se développer sur d'autres plantes-hôtes que celles choisies par la femelle pour la ponte?

Les résultats devraient permettre de mieux connaître la relation insecte-plante au sein des Tephritidae nuisibles à La Réunion, notamment en ce qui concerne l'étendue de leur gamme de plantes-hôtes et la qualité de la plante-hôte, afin de confirmer ou d'élargir leur spécialisation alimentaire.

Cohérence du choix du stage avec mon projet professionnel :

C'est durant mon année passée à l'Université de Montréal que j'ai découvert ma passion pour la biologie végétale, la phytopathologie et la phytoprotection. Ma première année de Master Biologie des Ecosystèmes Tropicaux à l'Université de La Réunion m'a ensuite permis d'approfondir mes connaissances sur les écosystèmes cultivés et les bioagresseurs, par l'intermédiaire de cours tels que «Entomologie et virologie », « Bactériologie et mycologie » et « Amélioration des plantes ». Mon stage de deuxième année de Master Ecosystème Agrosystème et Développement Durable effectué au Cirad confirme mon goût pour la phytopathologie et pour la recherche scientifique. C'est dans cette optique que je désire poursuivre mes études en doctorat, afin de devenir enseignant-chercheur.

Chapitre I - Présentation de l'entreprise

1. Le Cirad dans le monde

Le Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) intervient dans plus de 50 pays du monde (**Figure 1**). Avec 1800 agents et 203 millions d'euros de budget, le Cirad contribue au développement rural des régions chaudes, par des recherches et des réalisations expérimentales, principalement dans les secteurs agricoles, forestiers et agroalimentaires. Il assure aussi la formation par la recherche et la diffusion de l'information scientifique et technique au profit du développement.

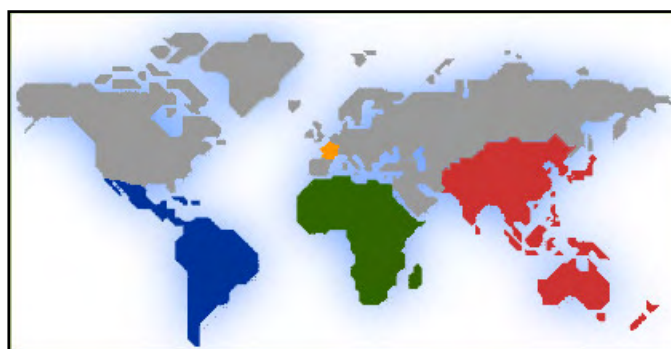


Figure 1 : Carte de localisation des équipes du Cirad dans le monde
http://www.cirad.fr/fr/le_cirad/cirad_monde/index.php

Le Cirad est composé de 52 Unités de Recherches réparties dans trois départements scientifiques : Systèmes biologiques (**Bios**), Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (**PerSyst**), Environnement et sociétés (**ES**) (voir organigramme en Annexe 1 figure 1). Ce stage a été effectué au sein du département **Bios**, dans l'Unité Mixte de Recherche « Peuplements végétaux et bioagresseurs en milieu tropical » (**UMR Pvbmt**). L'organigramme des départements est présenté en **Annexe 1 (Figure 1)**.

2. Le Cirad à la Réunion

Les installations du Cirad à La Réunion sont réparties sur cinq sites (**Figure 2**). Ce stage a été effectué dans le sud de l'île, à la station Ligne Paradis. En 2007, 200 personnes étaient réparties au sein de ces installations (**Figure 3**).



Figure 2 : Localisation des stations du Cirad sur l'île de La Réunion
http://www.cirad.fr/reunion/cirad_reunion/adresses



Figure 3 : Répartition des effectifs du Cirad de La Réunion
<http://www.cirad.fr/reunion/content/download/1585/9565/file/Faits%20marquants%202007.pdf>

A La Réunion, le Cirad est organisé depuis janvier 2007 en trois pôles de recherches : Qualité des productions agricoles et alimentaires tropicales (**KAPPA**), Risque environnemental, agriculture et gestion intégrée des ressources (**REAGIR**), Pôle de Protection des Plantes (**3P**). Ces trois pôles regroupent douze programmes de recherche (pour la période 2008-2013), portant sur des projets de coopération régionale tels que la protection des végétaux, les maladies animales émergentes, la canne à sucre, les plantes envahissantes et la biodiversité, la qualité du lait et des productions agricoles... Ce stage s'est déroulé au Pôle de Protection des Plantes, dans le cadre du **projet GECOVA** (Gestion écologique des communautés végétales et animales dans les agro-systèmes et les écosystèmes naturels de La Réunion).

3. Le Pôle de Protection des Plantes

Inauguré en février 2002, le Pôle de Protection des Plantes (3P) de St Pierre (**Figure 4**) est dédié à la recherche appliquée et à la formation dans le domaine de la protection des cultures et des milieux naturels contre les organismes nuisibles (maladies, ravageurs, mauvaises herbes et plantes envahissantes).



Figure 4 : Le Pôle de Protection des Plantes

Les 3000 mètres carrés d'infrastructures sont partagés par 4 partenaires : le Cirad et l'Université de La Réunion (formant l'UMR Pvbmt), le Laboratoire National de Protection des Végétaux (LNPV), le Service de Protection des Végétaux (SPV) et la Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles (FDGDON). Ce stage s'est déroulé dans le Laboratoire d'Ecologie Terrestre et de Lutte Intégrée de l'UMR Pvbmt du 3P (**Figure 5**). L'organigramme de cette UMR est présenté **Annexe 1 (Figure 2)**.

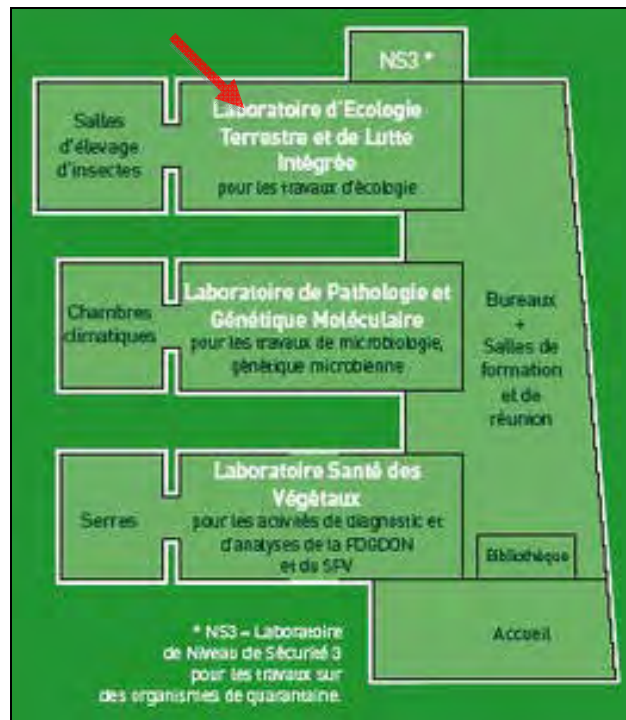


Figure 5 : Plan du Pôle de Protection des Plantes

http://umr-pvbmt.cirad.fr/plate_formes_de_recherche/pole_de_protection_des_plantes

4. Le Laboratoire d'Ecologie Terrestre et de Lutte Intégrée

D'une superficie de 552 mètres carrés, ce laboratoire contient une salle de collections d'arthropodes, une salle avec un tunnel de vol, une salle photo/vidéo macroscopique, 6 chambres climatiques d'élevage d'arthropodes (**Figure 6**), etc.



Figure 6 : Chambre climatique d'élevage de Mouches des fruits

Chapitre II - Mémoire bibliographique

1. L'île de La Réunion

1.1. Contexte géographique

L'île de La Réunion est un département d'outre-mer français situé dans le sud ouest de l'Océan Indien (**Figure 7**), à 880 km de Madagascar (21°53'S et 55°30'E). C'est l'île la plus occidentale de l'archipel des Mascareignes (Réunion, Maurice, Rodrigues). D'une superficie de 2512 km², l'île est composée de deux volcans : le Piton des Neiges éteint et culminant à 3069 mètres ainsi que le Piton de la Fournaise, l'un des volcans les plus actifs au monde, culminant à 2700 mètres.

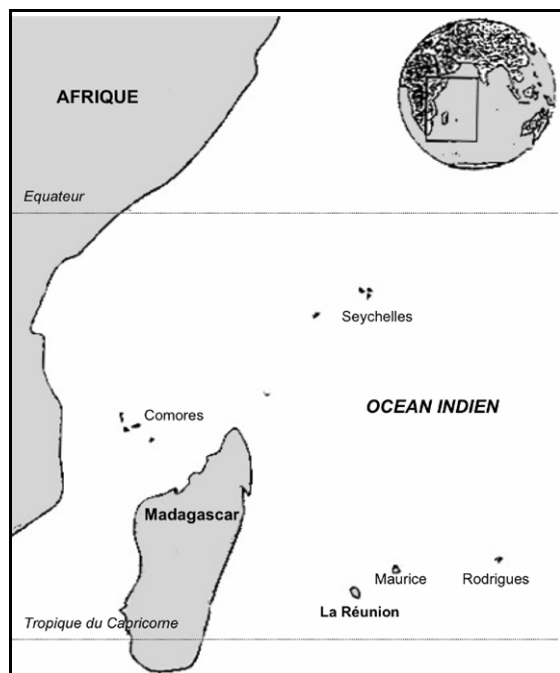


Figure 7 : Situation géographique de l'île de La Réunion dans l'Océan Indien (Duyck, 2005)

La situation océanique de l'île, la complexité du relief et l'exposition aux vents déterminent une multitude de microclimats les plus extrêmes, marqués par des variations spectaculaires de température et de pluviométrie. C'est ainsi qu'il pleut en moyenne plus de 7 mètres d'eau par an à Takamaka¹, situé à l'Est de l'île, sur la « côte au vent » contre à peine 0,5 mètres sur le littoral de Saint-Gilles situé à l'Ouest, sur la « côte sous le vent » (**Figure 8**).

¹ D'après l'Office National des Forêts (<http://www.onf.fr/la-reunion/@@index.html>) Visité le 05/07/09



Figure 8 : Carte de l'île de La Réunion (D'après <http://www.ileintense.com/>)

1.2. Contexte agricole

La Surface Agricole Utile (SAU) ne représente qu'un cinquième de la superficie de l'île². La diversité des climats engendre un éventail de productions très vaste, allant des cultures purement tropicales (mangue, canne à sucre, ...) aux productions caractéristiques de zones tempérées (pomme de terre, élevages laitiers, ...). La SAU est composée de 75 % de terres arables, de 20 % de surfaces toujours enherbées et de 5 % de cultures fruitières permanentes. La majorité des terres arables est consacrée à la canne à sucre, avec 78,9 % de la superficie cultivée (**Tableau I**).

Tableau I : Superficies cultivées en 2006 sur l'île de La Réunion (D'après AGRESTE <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R97408D05.pdf>)

Culture	Surface (millier d'hectares)	%
Céréales	0,6	1,9
Cultures industrielles	26,1	81,1
dont canne à sucre	25,4	78,9
Cultures légumières	2,6	8,1
Cultures fruitières	2,8	8,7
Cultures florales	0,1	0,3
Total	32,2	100

Les principaux fruits cultivés sur l'île sont le litchi (840 ha), la mangue (470 ha), la banane (370 ha), l'ananas (330 ha) et les agrumes (300 ha) (Agreste, 2004).

² Direction de l'Agriculture et de la Forêt de La Réunion
(http://daf974.agriculture.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=134) Visité le 05/07/09

2. Les Mouches des fruits et des légumes

2.1. Taxonomie

Les Mouches des fruits et des légumes appartiennent à la famille des Tephritidae (**Tableau II**), qui compte environ 4000 espèces réparties dans 500 genres (White & Elson-Harris, 1992).

Tableau II: Position systématique des Tephritidae (White & Elson-Harris, 1992)

Embranchement	Sous-embranchement	Classe	Sous-classe	Ordre	Sous-ordre	Famille
Arthropoda	Hexapoda	Insecta	Pterigota	Diptera	Brachycera	Tephritidae

2.2. Les espèces de Tephritidae nuisibles à La Réunion

Huit espèces de Tephritidae d'importance économique sont présentes sur les cultures fruitières ou maraîchères de l'île de La Réunion (Duyck, 2005). Le **tableau III** présente ces huit espèces et leur position systématique. Une fiche descriptive pour chacune des espèces ainsi que des photos sont disponibles en **Annexe 2**.

Tableau III: Les espèces de Tephritidae nuisibles à La Réunion (White & Elson-Harris, 1992)

Tribu	Genre	Espèces	Nom commun
<i>Ceratitis</i>	<i>Ceratitis</i> MacLeay	<i>C. capitata</i> (Wiedemann)	Mouche méditerranéenne des fruits
		<i>C. catovrii</i> Guérin-Méneville	Mouche des Mascareignes
		<i>C. rosa</i> (Karsch)	Mouche du Natal
	<i>Neoceratitis</i> Hendel	<i>N. cyaneus</i> (Bezzi)	Mouche de la tomate
<i>Dacini</i>	<i>Dacus</i> (Fabricius)	<i>D. demmerezi</i> (Bezzi)	Mouche des Cucurbitaceae de l'Océan Indien
		<i>D. ciliatus</i> Loew	Mouche Ethiopienne des Cucurbitaceae
	<i>Bactrocera</i> Macquart	<i>B. cucurbitae</i> (Coquillett)	Mouche du melon
		<i>B. zonata</i> (Saunders)	Mouche de la pêche

Selon leur spécialisation alimentaire, ces huit espèces peuvent être classées en deux groupes bien distincts, (voir partie 2.3.1. *Spécialisation alimentaire*): les Mouches des fruits sensu stricto (**polyphages**) et les Mouches des légumes (**oligophages**) :

- **Mouches des fruits s.s.** (inféodées aux cultures fruitières):

- *Bactrocera zonata*
- *Ceratitis catairii*
- *Ceratitis capitata*
- *Ceratitis rosa*

- **Mouches des légumes** (inféodées aux cultures maraîchères):

- | | |
|---|-----------------|
| - <i>Neoceratitis cyanescens</i> : Solanaceae | |
| - <i>Dacus demmerezi</i> | } Cucurbitaceae |
| - <i>Dacus ciliatus</i> | |
| - <i>Bactrocera cucurbitae</i> | |

Bien que *B. cucurbitae* ait incontestablement un régime alimentaire oligophage centré sur les Cucurbitaceae à La Réunion, dans sa zone d'origine asiatique comme en Afrique de l'Ouest son régime alimentaire semble plutôt tendre vers la polyphagie, puisqu'elle infeste aussi des espèces de la famille des Anacardiaceae (dont la mangue *Mangifera indica* L.), Rutaceae, Annonaceae, Solanaceae et Oxalidaceae (Vayssières *et al.*, 2007).

Pour les seules cultures fruitières, les coûts induits par ces ravageurs (pertes directes et coût de la lutte) s'élevaient en 1993 à plus d'un million d'euros chaque année à La Réunion (Bunge-Vivier, 1993).

2.3. Éléments de biologie

2.3.1. Cycle de développement

Le cycle de développement d'un Tephritidae est résumé sur la **figure 9**. Après l'accouplement, la femelle pond dans le fruit en perforant l'exocarpe* grâce à son ovipositeur*. Les œufs, d'environ 1 mm de long, sont de couleur blanchâtre et légèrement arqués. Après éclosion, les larves extraient du fruit hôte les nutriments nécessaires à leur bon développement (eau, protéines, glucides). Après trois stades larvaires successifs (L1, L2, L3), les larves sautent du fruit et s'enfoncent dans le sol pour se nymphoser, formant alors des pupes à partir desquelles émergeront les adultes (Quilici & Franck, 1999).

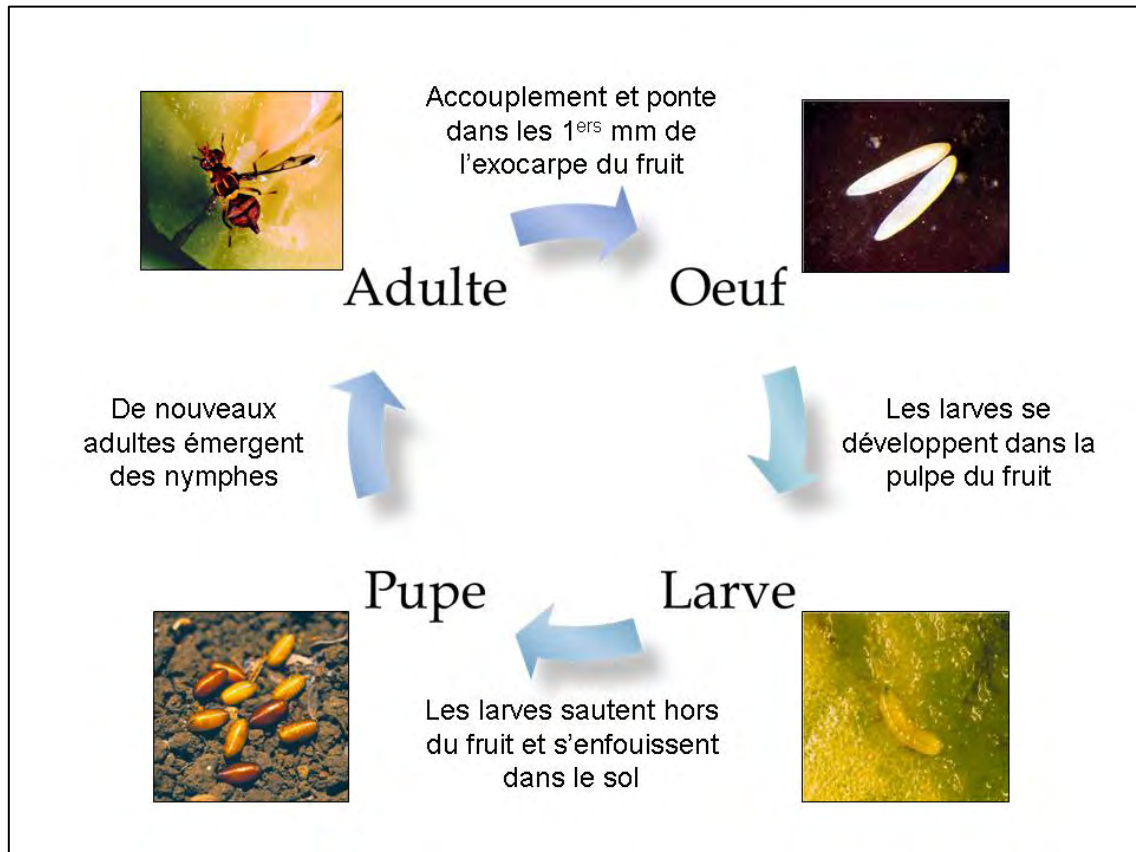


Figure 9 : Cycle de développement des Tephritidae (D'après www.fdgdon974.fr/IMG/pdf/MDL.pdf)

La nature de la plante-hôte et la qualité du fruit affectent le développement des stades immatures (voir partie 2.4.2. *Développement larvaire*) ainsi que le comportement des adultes (Duyck *et al.*, 2004).

2.3.2. Anatomie

La famille des Tephritidae possède les caractéristiques générales que l'on retrouve chez les Diptères :

- insectes holométaboles*
- une seule paire d'ailes (les antérieures), les ailes postérieures transformées en « balanciers »
- appareil buccal piqueur ou suceur-lécheur
- larves apodes, à appareil buccal constitué de crochets buccaux ou de stylets

Comme tous les insectes, une Mouche des fruits possède trois paires de pattes ainsi qu'un corps divisé en trois parties : tête, thorax et abdomen (**Figure 10**).

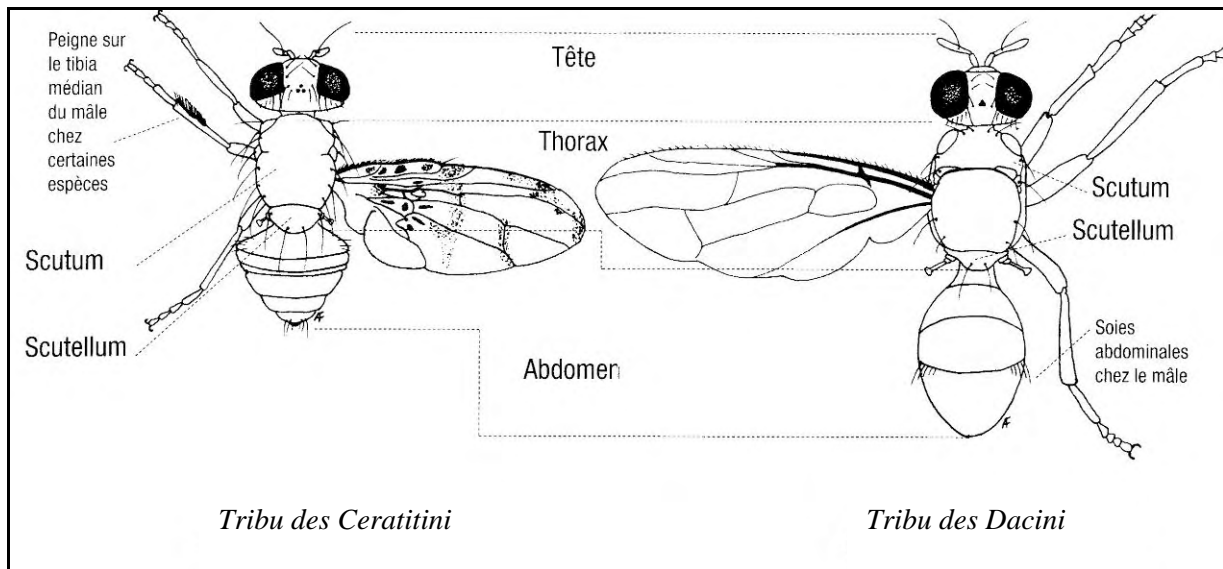


Figure 10 : Eléments de morphologie des Tephritidae (D'après Quilici & Jeuffrault, 2001)

La reconnaissance des sept espèces de Tephritidae étudiées se fait principalement par l'intermédiaire de différences morphologiques au niveau du scutum*, du scutellum* et des ailes (**Annexe 3**).

La différenciation mâle/femelle se fait principalement par la présence ou l'absence d'un ovipositeur* (**Figure 11**). L'oviscapte* est constamment observable chez une femelle et lors de l'oviposition* ou de la copulation*, on observe également la présence de la gaine rétractable de l'ovipositeur contenant l'aculeus*.

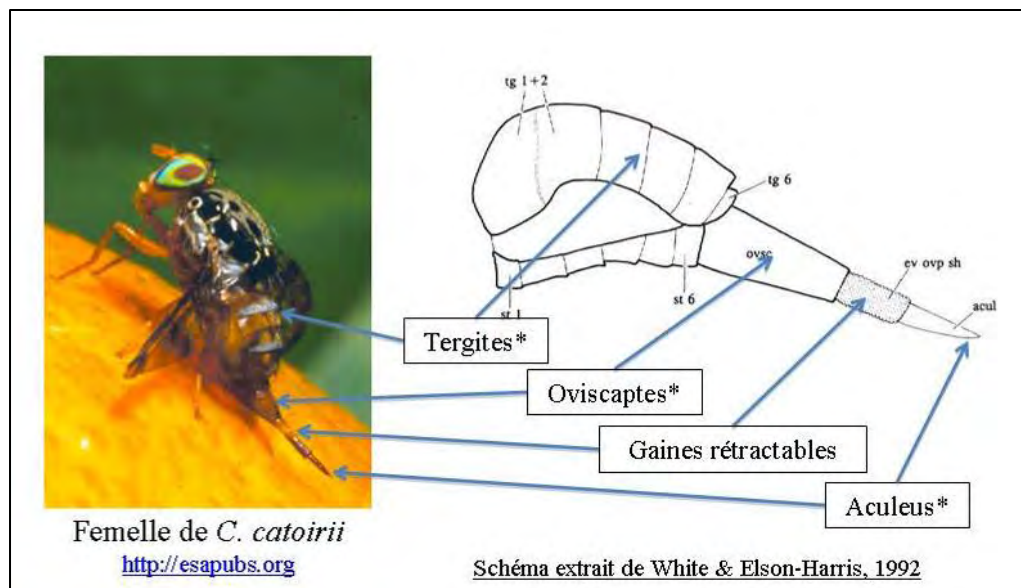


Figure 11 : Structure de l'ovipositeur chez les femelles de Tephritidae

3. Relations insecte-plante

3.1. Spécialisation alimentaire

Près de la moitié des espèces d'insectes existantes se nourrissent de plantes vivantes. Au sein de l'ordre des Diptères, 30 % des 119 000 espèces sont des espèces phytophages* (Schoonhoven *et al.*, 1998). Le phénomène de spécialisation des insectes pour la nourriture forme le cœur de la relation insecte-plante. C'est ainsi que l'on considère le degré de spécialisation alimentaire des espèces herbivores.

Un spectre continu existe entre les espèces d'insectes qui vont se nourrir uniquement sur une espèce de plante et celles qui se nourrissent sur une très large gamme de plantes issues de différentes familles. Cependant, les insectes sont habituellement séparés en catégories selon leur gamme de plantes hôtes : monophages, oligophages et polyphages (Bernays & Chapman, 1994). Les insectes **monophages** se nourrissent exclusivement d'une seule espèce de plante, ou d'un seul genre. Au sein de l'ordre des Diptères, *Bactrocera oleae* Gmelin (la mouche de l'olive) est un exemple d'espèce monophage, puisque ses larves se développent uniquement dans les olives. Les insectes se nourrissant sur un nombre de plantes appartenant à différents genres d'une même famille sont appelés **oligophages**. Au sein de l'ordre des Lepidoptera, la piéride du chou (*Pieris brassicae* L.) est un exemple d'espèce oligophage, ne s'attaquant qu'à la famille des *Brassicaceae*. Le terme **polyphage** se réfère aux insectes se nourrissant sur un nombre de plantes relativement large, de différentes familles, comme par exemple le puceron vert du pêcher (*Myzus persicae* Sulzer) qui infeste plus de cinquante familles de plantes.

Des termes alternatifs sont retrouvés dans la littérature, comme **sténophage**, se référant aux insectes ayant une gamme de plantes hôtes restreinte et **euryphage**, pour les insectes ayant une large gamme de plantes hôtes (Schoonhoven *et al.*, 1998).

La spécialisation insecte/plante-hôte est la règle plutôt que l'exception (Schoonhoven *et al.*, 1998). Il a été calculé que moins de 10 % des espèces herbivores se nourrissent de plantes issues de plus de trois familles différentes de plantes. Plus de 80 % de tous les Hemiptera, Diptera, Hyménoptera et Lépidoptera sont monophages.

L'étendue de la gamme de plantes-hôtes d'un insecte est restreinte par de nombreux facteurs morphologiques, physiologiques et écologiques (Schoonhoven *et al.*, 1998) et par le comportement des femelles lors de l'oviposition*. De ce fait, dans la nature une population qui

est monophage dans la nature pourrait certainement être considérée comme oligophage au laboratoire (Bernays & Chapman, 1994).

Par ailleurs, au sein d'une même espèce, le régime alimentaire peut différer suivant les populations. En effet, une population d'une espèce oligophage ou polyphage peut être monophage. Par exemple aux Etats Unis, le doryphore (*Leptinotarsa decemlineata* (Say)) est retrouvé uniquement sur *Solanum tuberosum* L. dans l'Utah, uniquement sur *Solanum elaeagnifolium* Cav. en Arizona et sur *Solanum rostratum* Dunal au Nouveau Mexique. Chacune de ces populations est monophage alors que l'espèce est en fait oligophage. On parle dans ce cas d'**oligophagie** « **disjointe** » (Bernays & Chapman, 1994).

En plus de la spécialisation plante-hôte, on observe une spécialisation des insectes (couramment chez les stades larvaires des insectes holométaboles* : Diptera, Coleoptera, Lepidoptera) pour certaines parties des plantes : feuille, tige, fruit, fleur, graine (Bernays & Chapman, 1994).

3.2. La sélection de la plante hôte

La sélection d'une plante hôte ne se résume pas seulement au choix d'une espèce de plante favorable, elle consiste aussi à sélectionner un individu sur lequel l'insecte peut assurer sa survie et son développement (Bernays & Chapman, 1994).

3.2.1. Les différentes étapes

La sélection de la plante-hôte par la femelle se traduit par une série d'étapes successives :

- L'insecte, marche ou vole au hasard sans contact direct avec la plante-hôte
- Il perçoit des signaux visuels et/ou olfactifs issus de la plante
- Il répond aux signaux en se rapprochant
- Le contact avec la plante s'établit
- La surface de la plante est examinée par des tests de contact
- La plante peut être endommagée par des ponctions de l'ovipositeur, des pénétrations de stylets d'insectes piqueurs-suçeurs...
- La plante est acceptée (ponte ou alimentation continue) ou rejetée (départ de l'insecte)

L'orientation des insectes herbivores vers la plante-hôte se fait par des signaux de directionnalité impliquant l'odeur et/ou la vision.

3.2.2. *Stimuli olfactifs*

L'air provenant de la source d'odeur contient des poches d'odeur qui vont être perçues en rafales, séparées par des périodes sans odeur. L'orientation par le vent est appelée **anémotaxis**. Il y a deux étapes pour la perception des stimuli olfactifs : l'éveil, puis l'orientation vers la source d'odeur. Les odeurs dégagées par les plantes peuvent être spécifiques à un taxon (souvent chez les espèces oligophages et monophages) et le système olfactif de l'insecte a souvent la capacité de les distinguer des autres (Bernays & Chapman, 1994).

L'insecte dispose de structures sensibles spécialisées pour distinguer les mouvements d'air et identifier les substances attractives ou répulsives. On retrouve par exemple chez le Sphinx du tabac (*Manduca sexta* L.) des mécanorécepteurs situés sur les antennes qui apportent des informations directionnelles. Sa trajectoire de vol peut alors être décrite comme un zigzag régulier, avec une amplitude limitée (Schoonhoven *et al.*, 1998). Des sensilles mécanoréceptrices situées sur la tête de l'insecte peuvent aussi l'aider à détecter la direction des mouvements d'air (Bernays & Chapman, 1994).

Chez les Tephritidae, les molécules volatiles issues des fruits sont importantes pour permettre aux mouches de trouver le fruit, mais aussi pour leur permettre de distinguer s'il est hôte ou non hôte et d'estimer son stade de maturité de celui-ci (Fletcher, 1987).

3.2.3. *Stimuli visuels*

L'attraction visuelle peut résulter d'une réponse à la couleur, à la forme ou à la dimension de la plante ou du fruit-hôte (Bernays & Chapman, 1994).

- La couleur : Chez les insectes, l'oeil est constitué d'ommatidies*, qui représentent l'unité photoréceptrice de base. Le spectre de sensibilité d'un œil composé s'étend de 350 à 650 nanomètres (œil humain : 400 à 800 nm), ce qui rend l'ultraviolet perceptible pour une mouche (Schoonhoven *et al.*, 1998). Outre le spectre de longueur d'onde, l'intensité lumineuse joue aussi un rôle important. L'influence de la couleur de la plante-hôte peut être illustrée avec l'exemple de la Mouche du chou (*Delia radicum*), qui atterrit aussi bien sur des feuilles colorées artificiellement avec les couleurs mimétiques de la plante-hôte (Bernays & Chapman, 1994).

- La forme et la taille. : Ces deux paramètres ne facilitent la sélection de la plante hôte qu'à courte distance (suite aux stimuli olfactifs). Chez la Mouche de la pomme (*Rhagoletis pomonella*), il a été montré que la recherche d'un site d'oviposition par la femelle répond à différentes étapes d'orientation visuelle. En effet, à plus de 10 mètres de distance, la silhouette d'un arbre isolé est d'abord perçue, par contraste avec le fond. C'est seulement à quelques mètres de l'arbre que l'insecte est capable d'estimer la qualité spectrale et l'intensité de la lumière reflétée. Enfin, c'est à une distance de moins d'un mètre que la taille et la forme deviennent discriminables pour la Mouche de la pomme (Bernays & Chapman, 1994). Chez les Tephritidae, on peut aussi citer l'exemple de la Mouche orientale des fruits (*Bactrocera dorsalis* (Hendel)), qui est capable de se remémorer, parmi différentes sortes de fruits sur lesquelles elle effectue l'oviposition, la taille et la forme ovale du fruit du kumquat (*Fortunella spp.*). En effet, si on expose une femelle au préalable à un fruit de kumquat, elle est capable par la suite de mieux trouver le fruit par la suite que les femelles non exposées. Ce phénomène d'apprentissage de la taille persiste dans sa mémoire durant plus de 3 jours (Bernays & Chapman, 1994).

4. Développement pré-imaginal

Le stade adulte (imago) est précédé chez l'insecte holométabole* de 3 stades immatures, appelés stades pré-imaginaux.

4.1. Le stade oeuf



Figure 12 : Œufs de *Bactrocera zonata*
(A. Franck/Cirad)

Les œufs des Tephritidae sont :

- de couleur blanche/blanchâtre
- de forme allongée, un peu arqués
- longs d'environ 1 mm

Chez certaines espèces, il y a un petit micropyle* à l'extrémité antérieure des œufs, comme chez *Bactrocera tryoni* (White & Elson-Harris, 1992).

Le nombre d'œufs pondus lors de l'oviposition par la femelle est très variable selon les espèces, d'un seul œuf par exemple chez la Mouche de l'olive (*B. oleae*) à 30-40 œufs observés parfois chez la Mouche du melon (*Bactrocera cucurbitae*). Une corrélation entre la ponte et la taille du fruit hôte a été observée : les espèces qui infestent de petits fruits déposent en général moins d'œufs par ponte (Fletcher, 1987).

4.2. Les stades larvaires



Figure 13 : Larves de Tephritidae
<http://www.dpi.nsw.gov.au>

Les larves des Tephritidae ont :

- une couleur jaunâtre (*N. cyanescens*) ou blanc-ivoire
- une partie antérieure effilée, avec crochets buccaux noirs
- une partie postérieure tronquée
- une taille (L3) de 7-8 mm (sauf *D. demmerezi* 11-14 mm)

4.2.1. *Besoins alimentaires*

Durant son développement, la larve creuse des tunnels dans le fruit, ingère les tissus et ingère les tissus dégradés et les bactéries associées. Elle se nourrit d'eau, de protéines et de sucres (carbohydrates) ; cependant les tissus des fruits étant très souvent pauvres en protéines, la larve doit compter sur des bactéries pour l'apport de certains acides aminés essentiels et autres facteurs de croissance (Fletcher, 1987). Au sein d'un fruit, les larves peuvent se déplacer vers des zones où la teneur en carbohydrates est la plus élevée (Fernando & Zucoloto, 1993).

4.2.2. *Gammes de plantes nourricières et/ou de plantes hôtes*

Chez beaucoup d'espèces phytophages, la femelle sélectionne une plante hôte pour y déposer ses œufs avec son ovipositeur, mais la gamme de plantes hôtes choisie n'est souvent pas la même que la gamme de plantes idéale pour le stade larvaire (Schoonhoven *et al.*, 1998). Ainsi, l'étendue du régime alimentaire de la larve est souvent plus large que la gamme de plantes acceptables comme support d'oviposition de la femelle adulte (Wiklund 1975). Une étude de Wiklund (1975) chez le machaon (*Papilio machaon*) a abordé l'étendue de la gamme

de plantes favorables au stade larvaire et a démontré que le taux de survie larvaire était très important (près de 100%) sur les espèces de plantes non choisies par la femelle (**Figure 14**). Cette étude a également indiqué que les préférences de plantes des adultes et des larves sont déterminées par des complexes de gènes différents.

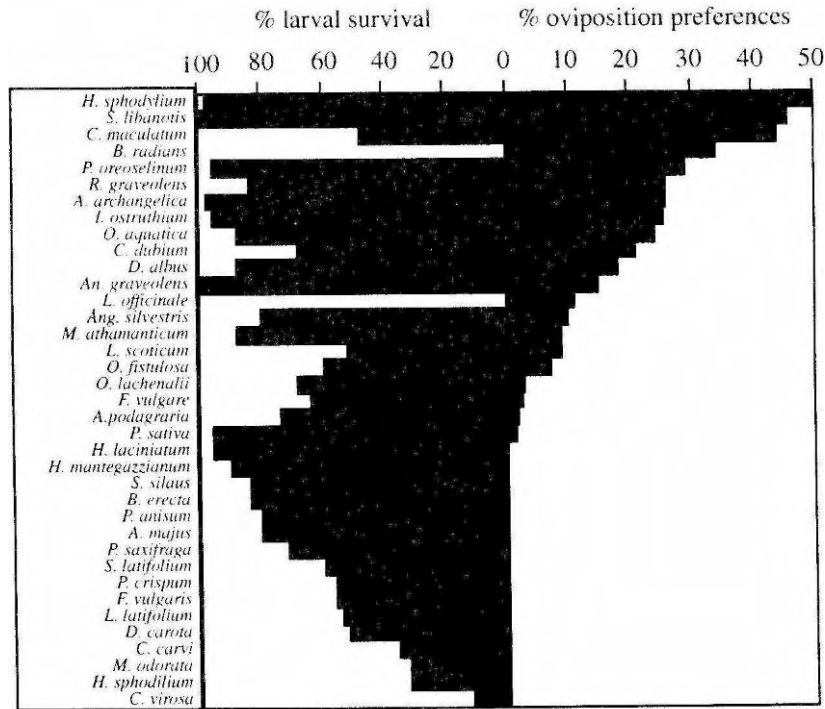


Figure 14 : Différences entre préférences alimentaires des larves et préférences d’oviposition de la femelle de *Papilio machaon*. Il est intéressant de noter que les larves ne se développent pas du tout sur *B. radians* alors que cette espèce est habituellement choisie par la femelle. (Schoonhoven *et al.*, 1998)

4.3. Le stade pupe

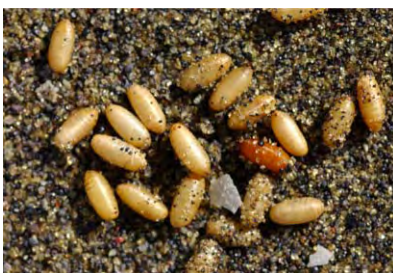


Figure 15 : Pupes de *B. cucurbitae* (A. Franck/Cirad)

- de couleur brune, jaunâtre (*D. demmerezi*, *B. cucurbitae*)
- en forme de tonnelet
- longues de 4-5 mm (sauf *D. demmerezi* 7mm)

Les pupes des Tephritidae étudiées sont :

Le stade de nymphose s’effectue chez les Tephritidae sous forme de pupes, qui se forment dans le sol après le saut des larves L3 hors du fruit hôte. L’humidité relative du sol a

un effet important et direct sur le développement des pupes. Une humidité relative élevée est optimale pour les Mouches des fruits s.s. étudiées et la survie décroît dans des conditions plus sèches (Duyck *et al.*, 2006b). Une étude est en cours sur l'humidité relative optimale pour les Mouches des légumes (Jacquard, 2009).

4.4. Durées de développement chez les espèces étudiées

Le **Tableau IV** résume les durées de développement des différents stades immatures des espèces étudiées, d'après les données de la littérature.

Tableau IV : Temps de développement des stades pré-imaginaux des espèces de Tephritidae étudiées à 25°C (en jours)

	Mouches des légumes				Mouches des fruits s.s.			
	<i>N. cyanescens</i>	<i>D. ciliatus</i>	<i>D. demmerezzi</i>	<i>B. cucurbitae</i>	<i>B. zonata</i>	<i>C. catovirii</i>	<i>C. capitata</i>	<i>C. rosa</i>
Œuf	3,4	1.7	1.9	1.25	2-3	2-3	2-3	2-3
Larve	9,0	5.7	4.9	3.6	9-11	≈7	≈6	≈10
Pupe	14	14	13.5	11	10-13	≈12	≈10	≈11
TOTAL	26.4	21.3	20.3	15.9	21-27	≈21	≈18	≈23
Références	(Brévault et Quilici, 2000)	(Vayssières et Coubes, 1999c)	(Vayssières et Coubes, 1999b)	(Vayssières et Coubes, 1999a)	(Duyck <i>et al.</i> , 2004)	(Duyck et Quilici, 2002)		

5. Objectifs et méthodologie de l'étude

5.1. Objectifs de l'étude

La famille des Tephritidae a une importance économique majeure puisque beaucoup d'espèces de cette famille s'attaquent à des cultures fruitières importantes dans les régions tropicales et subtropicales (Duyck *et al.*, 2004). Au travers du commerce des fruits, elles ont été introduites dans de nombreux pays et sont devenues envahissantes (Duyck, 2005).

Chez différents groupes d'insectes (Lepidoptera), les larves montrent parfois des **taux de survie importants** sur des plantes-hôtes **non choisies habituellement par la femelle** pour l'oviposition (Wiklund, 1975). Quelques études ont été menées afin de mieux connaître l'influence de la plante-hôte sur le développement larvaire des Tephritidae, notamment sur *C. capitata* (Krainacker *et al.*, 1987 ; Zucoloto, 1991 ; Fernandes-da-Silva & Zucoloto, 1993 ; Fernandes-da-Silva & Zucoloto, 1997) et sur cinq espèces de *Dacus* (Fitt, 1986). Excepté pour *C. capitata*, aucune étude n'a encore été menée sur le développement larvaire dans des fruits non hôtes des espèces nuisibles de Tephritidae rencontrées à La Réunion.

L'objectif de notre étude est donc de mieux connaître les relations insecte-plante au sein des Tephritidae, notamment le développement pré-imaginal post-embryonnaire des huit espèces rencontrées à La Réunion dans différents fruits hôtes ou non hôtes. Une connaissance plus fine des relations entre les Tephritidae et leurs plantes-hôtes pourrait contribuer à une meilleure gestion des populations au sein des agrosystèmes.

5.2. Dispositif expérimental et méthodologie

Afin de répondre à la question de recherche « Les larves de Tephritidae peuvent-elles se développer sur d'autres plantes-hôtes que celles choisies par la femelle pour la ponte ? », des expériences ont été menées au laboratoire sur les Mouches des fruits et légumes nuisibles à La Réunion en utilisant cinq fruits différents : la mangue (*Mangifera indica* L.), la tomate (*Lycopersicum esculentum* L.), la goyave (*Psidium guajava* L.), le badamier (*Terminalia catappa* L.) et la courgette (*Cucurbita pepo* L.).

Pour chaque espèce de mouche dans chaque fruit, les paramètres suivants sont étudiés : la survie larvaire, la survie pupale (taux d'émergence), les durées de développement larvaire et pupale, le poids des pupes et le sexe des adultes émergés.

Pour chaque fruit, plusieurs étapes vont être suivies afin d'étudier ces différents paramètres (voir partie 3.1. *Matériels et méthodes* pour plus d'informations):

1. **Inoculation** dans le fruit de larves au stade L1, provenant d'œufs issus de souches des espèces élevées au laboratoire.
 - une seule espèce dans un fruit (pour éviter la compétition interspécifique)
 - une larve pour 4 grammes de fruit (densité choisie pour éviter la compétition intraspécifique)
 - 6 répétitions par espèce. Une répétition consiste à contaminer un ou plusieurs fruits (selon l'espèce) par au minimum 75 larves.
2. Relevé journalier du nombre et du poids des **pupes** formées
 - individualisation des pupes dans des plaques multipuits
3. Relevé journalier du nombre d'**adultes émergés**
 - sexage des individus

Chapitre III - Mémoire de stage

1. Matériels et méthodes

1.1. Matériel biologique

1.1.1. Elevage des sept espèces de Tephritidae

- Elevage de masse

Les infestations de fruits ont été réalisées avec des mouches issues des salles d'élevage du laboratoire d'Ecologie Terrestre et de Lutte Intégrée (**Figure 16**). Depuis 2002 (pour les Mouches des fruits s.s.) ou 2005 (pour les Mouches des légumes), un nombre variable de générations d'élevage se sont succédées, selon les espèces¹ : *N. cyanescens* (14), *D. demmerezi* (15), *B. zonata* (53), *C. catovirii* (85), *C. capitata* (62) et *C. rosa* (104). Les expérimentations n'ont pas pu être menées sur *Dacus ciliatus* (la Mouche Ethiopienne des Cucurbitaceae) car cette espèce n'était alors pas disponible en élevage. Elle n'a donc pas été incluses dans nos expériences.



Figure 16 : Cages d'élevage de Tephritidae à l'intérieur d'une chambre climatique

Afin de renouveler les générations d'adultes, des pondoirs sont installés dans les cages, une fois par semaine. Pour les Mouches des fruits s.s., le pondoir est constitué d'un entonnoir retourné, percé de trous et contenant un morceau d'orange (**Figure 17**). Les

¹ Le nombre de générations pour *B. cucurbitae* n'est pas disponible (estimé à 50).

femelles insèrent leur ovipositeur dans les trous et déposent leurs œufs sur la face interne de l'entonnoir.

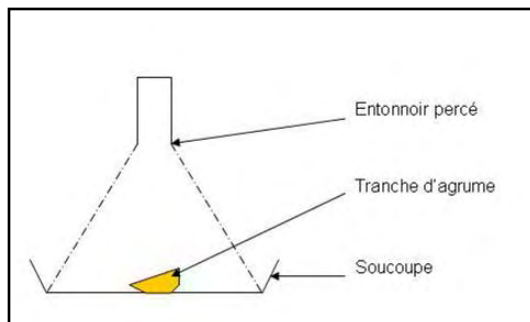


Figure 17 : Pondeur placé dans les cages d'élevage

Les œufs sont récoltés et déposés sur un premier milieu nutritif solide (Milieux 1, **Tableau V**), puis après une semaine sur un second milieu liquide ajouté à un substrat de son de blé, pour les larves plus âgées (Milieux 2, **Tableau V**). Les boîtes de milieux 2 sont alors déposées sur une litière de sable de rivière. Après le saut des larves (L3) et leur nymphose, les pupes sont récoltées par tamisage du sable puis placées ensuite dans des boîtes sans couvercle, dans les cages d'élevage, en vue du renouvellement des adultes.

Tableau V : Composition des milieux artificiels utilisés pour les élevages de *C. rosa* et *C. catoirii* (Etienne, 1973), *C. capitata* et *B. zonata* (Etienne, non publié)

Ingrédients	<i>C. capitata</i> / <i>B. zonata</i>		<i>C. rosa</i> / <i>C. catoirii</i>	
	Milieu 1	Milieu 2	Milieu 1	Milieu 2
Poudre de carotte déshydratée	56 g	-	50 g	12.5 g
Levure de bière	52 g	75 g	25 g	31.25 g
Sucre	-	150 g	-	50 g
Pomme de terre déshydratée	90 g	-	-	12.5 g
Eau + Nipagine + Benzoate	450 ml	500 ml	500 ml	500 ml
HCl à 16.5 ‰	20 ml	20 ml	-	15 ml
Agar	-	-	5 g	-
Germe de blé	-	-	-	25 g

Pour les Mouches des légumes, des fruits entiers sont utilisés, puisque les femelles pondent difficilement dans les pondeurs artificiels. Une courgette (pour *D. demmerezi* ou *B. cucurbitae*) ou une pomme de terre (pour *N. cyanescens*) est donc déposée dans la cage d'élevage. Après deux jours, le fruit est retiré et placé dans une boîte contenant du sable de rivière. Suite au saut des larves (L3) et à leur nymphose, les pupes sont récupérées par tamisage et replacées dans les cages d'élevage.

- Obtention des larves pour les inoculations de fruits

Pour l'étude, les œufs de chacune des sept espèces, issus des pondoirs artificiels ou des fruits, sont récupérés et placés en étuve à 25°C dans une boîte cylindrique en plastique, sur du papier buvard humidifié à l'eau distillée (**Figure 18**). Le temps de développement embryonnaire de chacune des espèces est rappelé dans le **Tableau IV**.



Figure 18 : Œufs de *N. cyanescens* étalés dans une boîte le 05/05/2009 (15^{ème} génération)

1.1.2. Obtention des fruits

- Sélection des fruits

Cinq plantes hôtes ont été choisies pour cette étude (**Annexe 2**), en fonction de leur abondance sur l'île et de la spécificité connue des espèces de Tephritidae. Le **tableau VI** montre les préférences des sept espèces étudiées vis à vis des plantes-hôtes ou non-hôtes choisies.

Tableau VI : Spécificité des espèces de Tephritidae étudiées d'après les données de la littérature (D'après Quilici & Jeuffrault, 2001)

(D'après Quenec'h & Jeanmau, 2001)

Noms scientifiques	<i>N.cyanescens</i>	<i>D.demmerezi</i>	<i>B.cucurbitae</i>	<i>B.zonata</i>	<i>C.catoirii</i>	<i>C.capitata</i>	<i>C.rosa</i>
Mangue (<i>Mangifera indica</i> L.)				+++		++	+++
Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> L.)	+++		+				
Goyave (<i>Psidium guajava</i> L.)					+	++	+++
Badamier (<i>Terminalia catappa</i> L.)				+++	++	+++	+++
Courgette (<i>Cucurbita pepo</i> L.)		++	+++				

+++

Qualité du fruit-hôte très favorable pour l'espèce de mouche (=témoins)

++

Qualité du fruit-hôte favorable pour l'espèce de mouche

+

Qualité du fruit-hôte peu favorable pour l'espèce de mouche

Les fruits utilisés pour la contamination sont intacts, non traités et lavés. La contamination s'effectue au stade de maturité du fruit préféré par la femelle lors de l'oviposition dans la nature. Ainsi, pour la tomate, les fruits ont été choisis verts avec un diamètre d'environ 30 mm, diamètre préférentiel pour l'oviposition des femelles (Brévault, 1999). Les mangues, les badamiers et les goyaves ont été utilisées au stade « tournant » (sur le point d'être matures), tandis que les courgettes sont utilisées à maturité, mais la ponte a plutôt lieu sur des jeunes fruits (Quilici, communication personnelle).

- Origine géographique

Le **Tableau VII** ci-dessous résume les lieux d'origine des fruits utilisés pour les expériences, ainsi que leur situation géographique sur l'île de La Réunion (**Figure 19**).

Tableau VII : Origine géographique des différents fruits utilisés au cours de l'étude

Fruit	Lieu d'origine	Altitude	Adresse d'obtention	Date d'obtention
Mangue	Bassin Martin	350 m	Station d'expérimentation de Bassin Martin (Cirad)	19/02/09
Tomate	Le Tampon	1000 m	Les Terrasses de Jasmin (serres) 7 chemin Galet Pk 18, Le Tampon	02 et 18/03/09
Goyave	Petite-Île	900 m	Domaine du Relais Manapany-les-Hauts	27/04/09 17/05/09
Badamier	Saint-Benoît	0 m	En bordure de la RN2 (21°3'47''S ; 55°43'54''E)	12/05/09 20/05/09
Courgette	Plaine des Cafres	1700 m	Marché Couvert du Tampon	08/6/09



Figure 19 : Localisation des sites de collecte des fruits sur l'île de La Réunion (D'après www.infres.enst.fr)

- Ordre d'utilisation

L'ordre d'utilisation des fruits est établi selon la disponibilité de ceux-ci et selon la période de sensibilité aux Tephritidae, précisée dans l'**Annexe 2** (Quilici & Jeuffrault, 2001). La **Figure 20** résume les dates d'utilisation des cinq fruits ainsi que les principales étapes des expérimentations réalisées. La mangue est tout d'abord choisie, puisque sa période de sensibilité aux Tephritidae se termine avant celles des autres fruits (de décembre à avril).

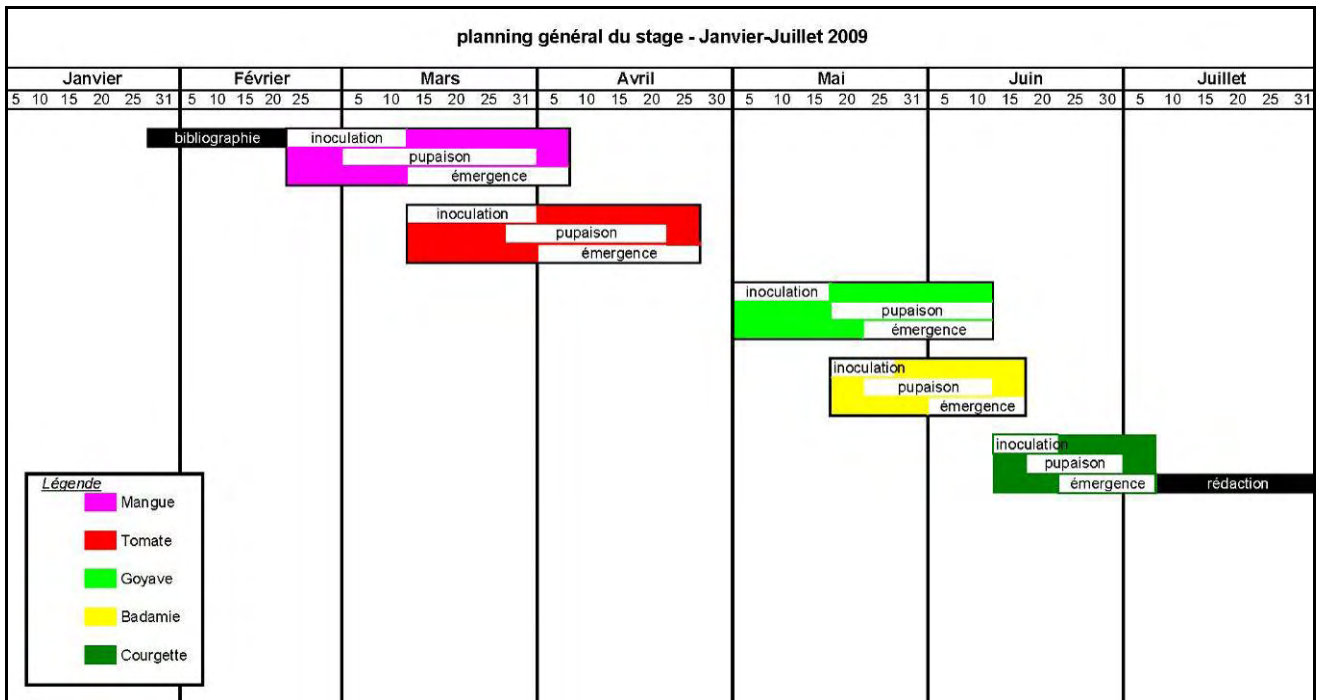


Figure 20 : Calendrier d'organisation des expérimentations et séquence d'utilisation des fruits

1.2. Protocole expérimental

1.2.1. *Choix du stade à inoculer*

L'inoculation directe des larves permet de s'affranchir de la variabilité du taux d'éclosion des œufs dans les différents fruits et de placer ainsi une densité constante de larves dans chaque réplicat de fruits (Fitt, 1986). Il a été montré que plusieurs espèces de fruits peuvent inhiber l'éclosion des œufs (May, 1963 ; Smith, 1977), ceci concernant souvent des fruits non mûrs (Fitt, 1986).

1.2.2. *Choix de la densité larvaire*

Une densité d'une larve pour un gramme de fruit, comparable à celles observée dans la nature (Duyck et al., 2006a) est couramment utilisée dans différentes études sur le

développement larvaire des Tephritidae (Duyck *et al.*, 2008 ; Fitt, 1986 ; Krainacker *et al.*, 1987). Par sécurité, afin de s'affranchir d'éventuels problèmes dus à un manque de nutriments et/ou à une compétition intraspécifique, une densité d'**une larve pour quatre grammes de fruit** est choisie pour les contaminations, au lieu d'une larve pour un gramme. La quantité de jeunes larves introduites dans chaque fruit frais est reportée à la masse de pulpe de celui-ci (**Tableau VIII**). Ainsi, pour la mangue, la goyave et le badamier, on tient compte de la masse du noyau (respectivement 10 %, 5 % et 55 % du poids total du fruit). Les pesées de fruits ont été effectuées avec une balance Denver Instrument XP-3000 (3000 x 0.1 g).

Tableau VIII : Poids des fruits, nombre de fruits et de larves utilisés lors des expérimentations

fruit	Poids moyen d'un fruit (g)	Poids moyen d'un fruit sans noyau (g)	Nombre moyen de larves par fruit	Nombre moyen de larves par répétition	Nombre moyen de larves par espèce	Nombre total de larves	Nombre total de fruits
Mangue	291.19	260.20	72*	71.60	429.6	3006	42
Tomate	33,50	33,50	9*	75,88	455.3	3187	352
Goyave	69,00	65,55	17*	74.74	448.4	3139	168
Badamier	18.46	9.11	2*	75,00	450.0	3150	540
Courgette	335.40	335.40	92*	76.30	553.0	3874	42

* Nombre de larves majoré de 10%, pour tenir compte d'une éventuelle mortalité au moment de la manipulation des larves L1 (très fragiles).

1.2.3. Inoculation des larves

Pour éviter les problèmes de compétition interspécifique, une seule espèce de mouche est inoculée dans un fruit, avec **six répétitions par espèce**. Une répétition consiste en un certain nombre de fruits (variable selon l'espèce de plante) contaminés par des larves au stade L1 à la densité choisie (1 larve / 4 g de fruit). Au total, chaque répétition correspond à une infestation par un minimum de 75 larves. Les larves L1 de chaque espèce sont récupérées juste après l'éclosion des œufs dans les boîtes cylindriques en plastique (**Figure 18**), dans les 6h en moyenne après le début des éclosions.

Pour les contaminations, les larves L1 sont déposées à l'aide d'un pinceau fin à l'intérieur de la pulpe des fruits intacts, non traités et lavés, dans des scarifications effectuées au scalpel (**Figure 21**). Le nombre de blessures pratiquées sur le fruit et le nombre de larves L1 introduites dans chaque blessure est variable selon les fruits. (Mangue : 20 L1 / blessure ; autres fruits: un maximum de 10 L1 / blessure).

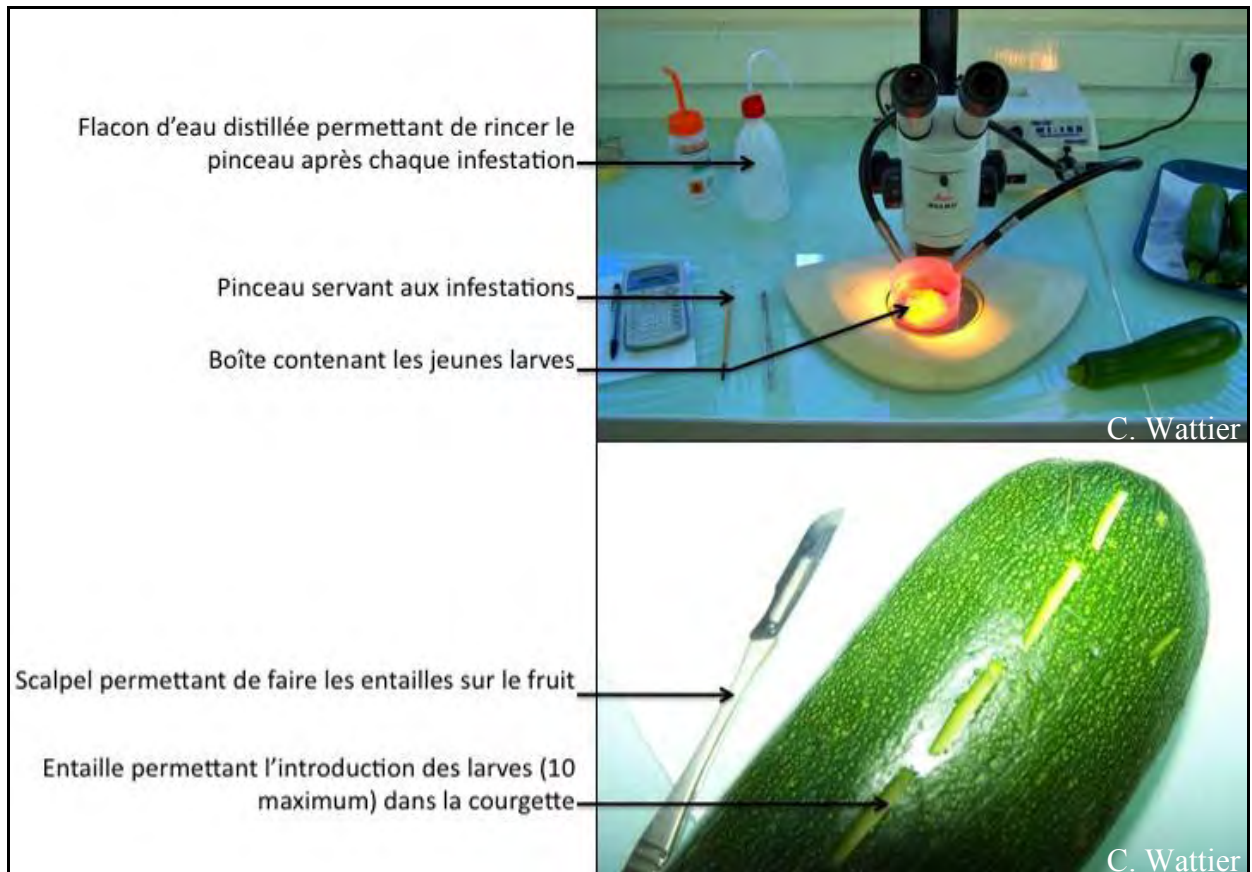


Figure 21 : Dispositif d'infestation des fruits

Suite à l'inoculation, le(s) fruit(s) sont placés dans des boîtes en plastiques (19,5 x 19,5 x 7,0 cm), dont le couvercle a préalablement été découpé pour y insérer un morceau de tissu Mousseline, afin que l'air circule dans la boîte. Dans une boîte, correspondant à une répétition, on place ainsi un fruit (pour la mangue ou la courgette, **Figures 22**) ou plusieurs fruits (environ 8 tomates, 4 goyaves, 13 badamiers, **Figure 23**).

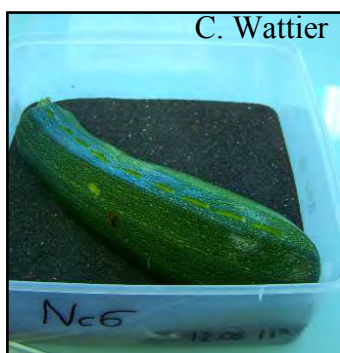


Figure 22 : Boîte contenant la courgette de la 6^{ème} répétition pour *N. cyanescens* (12/06/09)

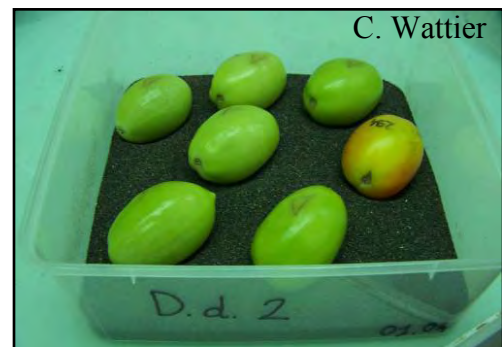


Figure 23 : Boîte contenant les tomates de la 2^{ème} répétition pour *D. demmerezi* (01/04/09)

Pour une espèce, les six boîtes (six répétitions) sont ensuite placées sur un plateau (**Figure 24**) et entreposées dans une chambre climatique (**Figure 16**, étagère la plus haute), à une température de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, une humidité relative de $70\% \pm 10\%$ et une photopériode 12 :12.

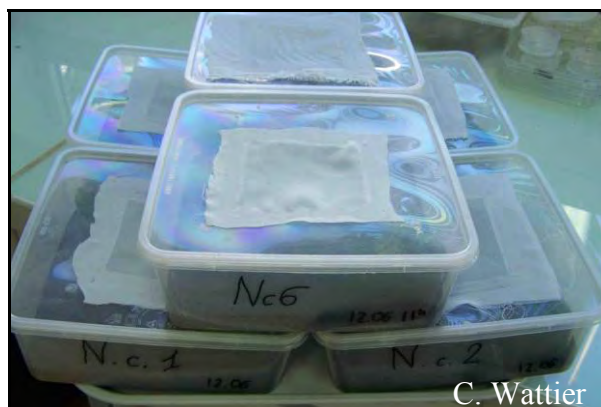


Figure 24 : Plateau regroupant les six répétitions pour *N. cyanescens* dans un fruit donné

1.2.4. Récolte et pesée des pupes, émergence des adultes

La fin du développement larvaire peut être estimée pour chaque espèce d'après la littérature (**Tableau IV**). Un peu avant celle-ci, les fruits sont inspectés fréquemment, puis, dès la formation de la première pupa, inspectés une fois par jour. Les pupes sont collectées tous les jours, par tamisage du sable de rivière présent dans chaque boîte de conservation des fruits. A chaque inspection, les pupes formées sont prélevées individuellement à l'aide d'une pince souple, pesées avec une balance électronique Sartorius CP 124S (max = 120 g, d = 0.1 mg, **Figure 25**) et placées en boîtes individuelles d'émergence (**Figure 26**). Les pupes de *C. capitata* et *C. catoirii* ne se développant pas dans ces plaques, les pupes de ces espèces ont été placées (pour tous les fruits) dans un tube à hémolyse.



Figure 25 : Balance électronique utilisée pour la pesée des pupes

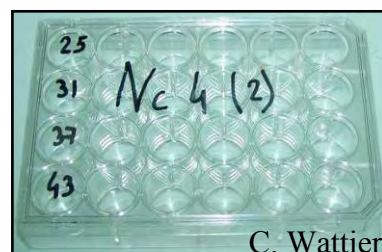


Figure 26 : Plaque de 24 puits ayant contenu les pupes numérotées de 25 à 43 (issues de la 4^{ème} répétition pour *N. cyanescens* dans la tomate)

Vers la fin de la période de pupaison, les plaques multipuits (ou les tubes à hémolyse) sont inspectées une fois par jour et la date d'émergence ainsi que le sexe de l'adulte émergé sont notés.

1.2.5. Paramètres étudiés

Pour chaque espèce et dans chaque fruit, les paramètres suivants sont étudiés (**Figure 27** et **Tableau IX**).

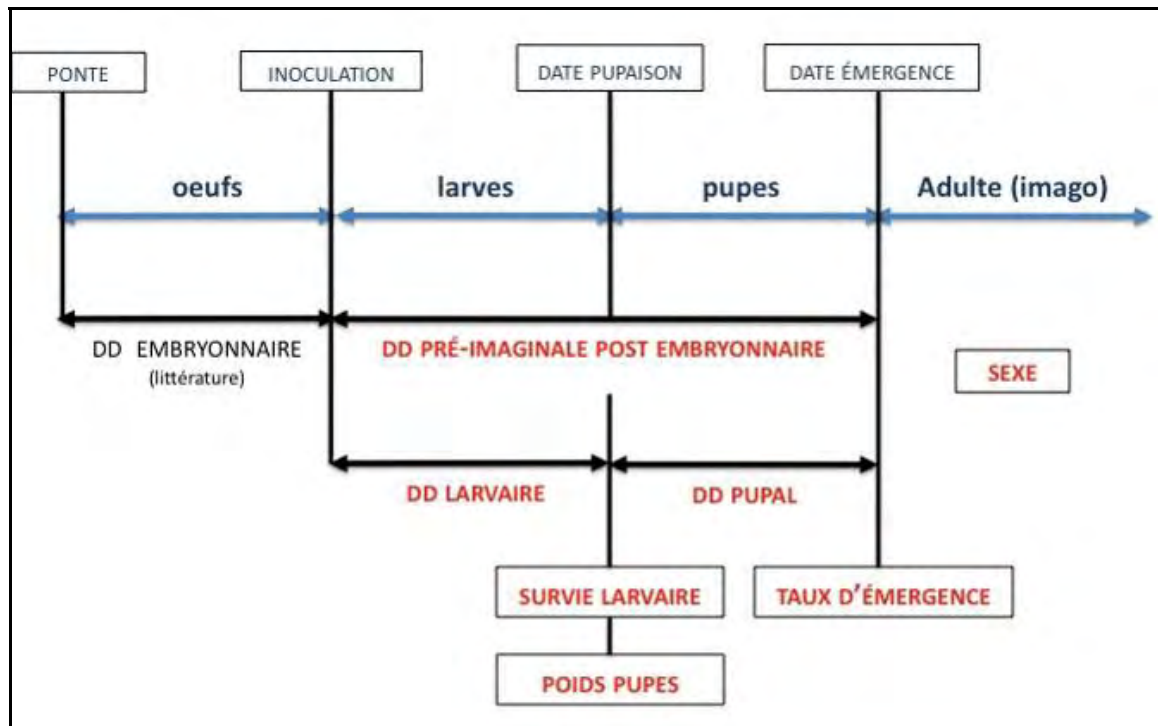


Figure 27 : Schéma récapitulatif des différents paramètres étudiés

Tableau IX : Paramètres étudiés et unités utilisées

Paramètre	Unité	Formule de calcul
Survie larvaire	%	$= \frac{\text{nombre pupes} \times 100}{\text{nombre larves L1}}$
Taux d'émergence	%	$= \frac{\text{nombre adultes} \times 100}{\text{nombre pupes}}$
Durée développement larvaire	h	$= \text{date pupaison} - \text{date inoculation}$
Durée développement pupale	h	$= \text{date émergence} - \text{date pupaison}$
Poids des pupes récoltées	10^{-4} g	
Sexe des individus émergés	M ou F	

1.2.6. *Traitement des données*

Le logiciel utilisé pour les analyses statistiques est le logiciel R (version 2.9.0, R Development Core Team, 2009, Vienne, Autriche).

Dans un premier temps, des statistiques descriptives (histogrammes, courbes) et une analyse en composante principale (ACP) sont réalisées sur le jeu de données comportant tous les adultes émergés de toutes les espèces dans tous les fruits. Sont alors prises en compte uniquement des variables quantitatives (poids des pupes, durées de développement larvaire pupale et pré-imaginale post-embryonnaire).

Pour chaque paramètre étudié (durées de développement larvaire et pupale, poids des pupes, survie larvaire, taux d'émergence, sexe), la moyenne et son erreur standard (S.E.) sont calculées pour chaque espèce de Tephritidae. L'erreur standard est considérée comme l'écart type de la distribution théorique de toutes les erreurs qui seraient commises en faisant varier les échantillons.

Dans un deuxième temps, une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) est réalisée, sur le même jeu de données utilisé pour l'ACP, sur des variables qualitatives (espèce, fruit, groupe d'espèce : oligophage ou polyphage) et quantitatives (durées de développement larvaire et pupal, poids des pupes). Pour l'ACM, les variables qualitatives sont codées et les variables quantitatives doivent être regroupées en classes. Les classes de chaque variable quantitative, comportant approximativement le même nombre d'individus, sont créées grâce à un histogramme de distribution des valeurs.

Dans un troisième temps, afin de tester l'effet du facteur « espèce de Tephritidae » sur les différents paramètres étudiés, on réalise pour chaque paramètre, une analyse de variance (ANOVA) à un facteur (H_0 = égalité des moyennes ; H_1 = au moins une moyenne est différente). Tous les tests statistiques sont effectués avec un test de Student au risque α de 5 %. Ainsi, dans les résultats, un test est dit significatif (*) si la p-value est comprise entre 0.05 et 0.01, hautement significatif (**) pour une p-value comprise entre 0.01 et 0.001 et très hautement significatif (***) pour une p-value inférieure à 0.001.

Les moyennes sont ensuite comparées deux à deux, quand cela est nécessaire (si H_1 est acceptée), à l'aide d'un test de Tukey HSD (Honestly Significant Differences) ($P = 0,05$).

Pour les taux de survie larvaire et d'émergence, nous utilisons la transformation $\arcsin(\sqrt{\text{taux de survie}})$ et $\arcsin(\sqrt{\text{taux d'émergence}})$ afin de stabiliser la variance.

2. Résultats

2.1. Analyse descriptive des paramètres étudiés (ACP, ACM)

2.1.1. Etude des variables quantitatives (ACP)

Le jeu de données pris en compte comprend tous les individus émergés issus de tous les fruits. Une Analyse en Composante Principale (ACP) montre, avec 83,3 % d'inertie expliquée par les deux premiers axes, une corrélation inverse entre le poids des pupes et la durée de développement larvaire (**Tableau X** et **Figure 28**). Ainsi, plus la durée du développement larvaire est longue, plus le poids des pupes diminue. Il n'y a cependant aucune corrélation entre la durée du développement pupal et le poids des pupes.

Tableau X : Variables quantitatives utilisées pour l'ACP

Variable	Désignation
poids	Poids des pupes récoltées
ddpupe	Durée du développement pupale
ddlarv	Durée du développement larvaire
ddppe (= ddlarv + ddpupe)	Durée du développement pré-imaginale post-embryonnaire

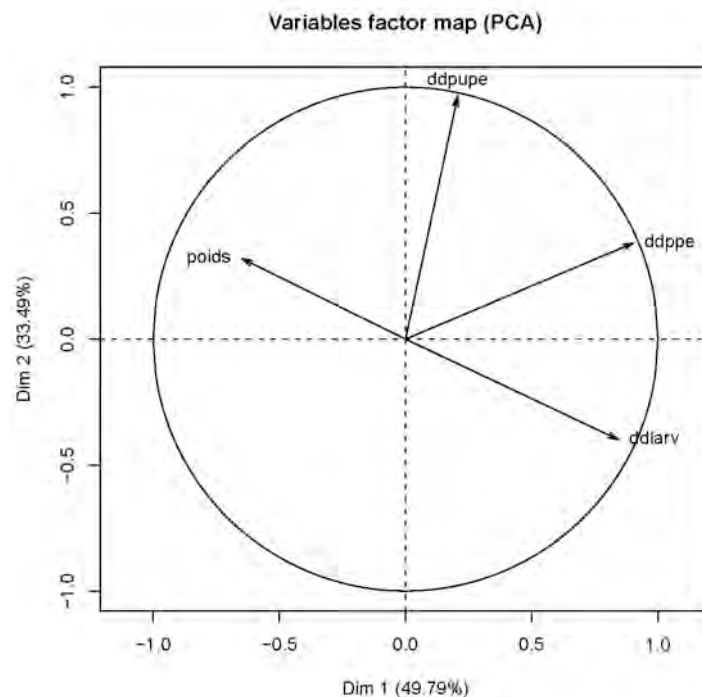


Figure 28 : Cercle des corrélations entre les variables utilisées pour l'ACP

2.1.2. Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Afin d'effectuer une ACM, les variables quantitatives (ddlarv, ddpupe, poids) ont été regroupées en classes (**Tableau XI**), avec un nombre d'individus équivalent dans chaque classe (grâce à un histogramme de distribution). Le jeu de données utilisé correspond à tous les individus émergés lors des expérimentations, pour tous les fruits et toutes les espèces.

Tableau XI : Etendues des classes utilisées pour l'ACM

Variable	Classe	Etendue
ddlarv	1	0 à 200 h
	2	200 à 300 h
	3	> 300 h
ddpupe	1	0 à 200 h
	2	200 à 300 h
	3	> 300 h
poids	1	0 à 100×10^{-4} g
	2	100 à 125×10^{-4} g
	3	> 125×10^{-4} g

Avec un pourcentage d'inertie équivalent à 50% au niveau du troisième axe, l'ACM montre des corrélations entre certaines des variables utilisées (**Figure 29**).

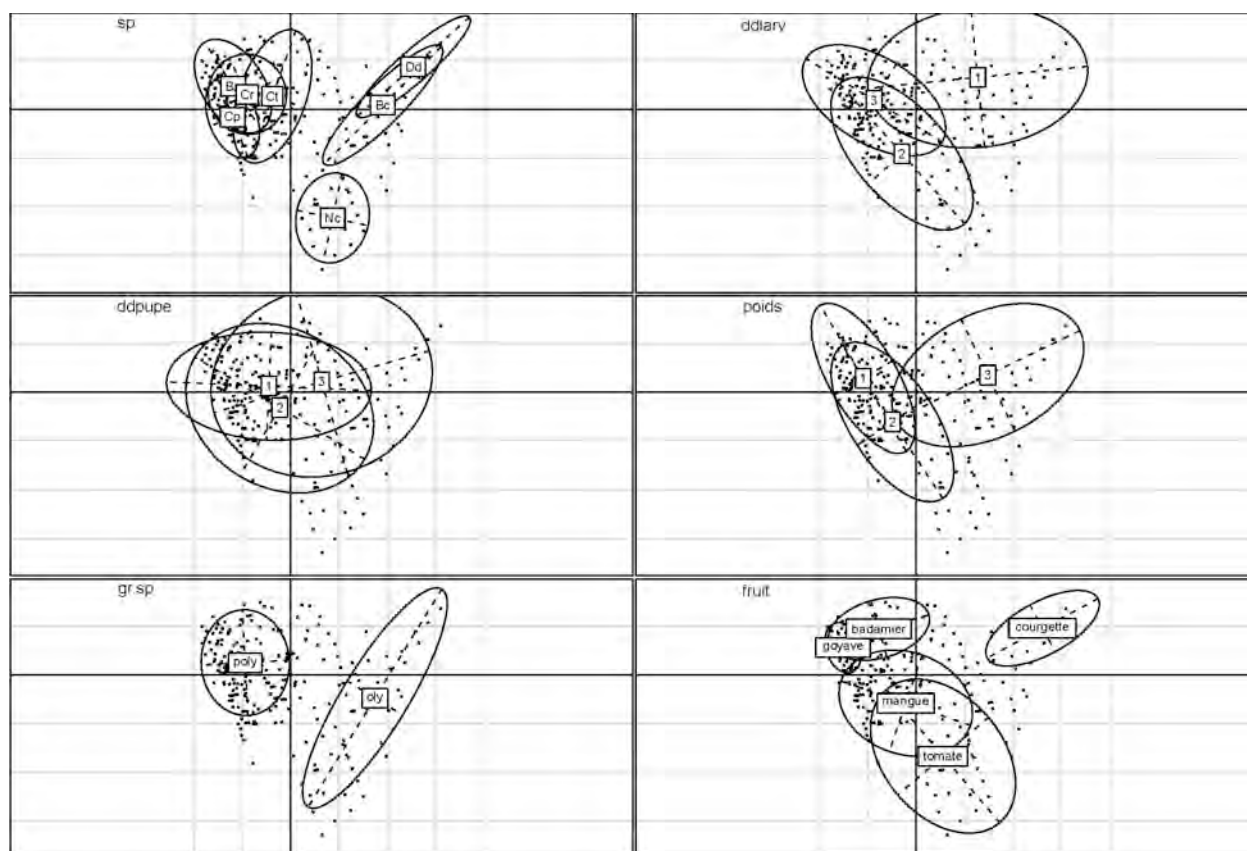


Figure 29 : Représentation graphique des corrélations entre variables avec l'ACM

Les trois classes de la variable « ddupe » apparaissent assez proches au vu des cercles de distribution établis lors de l'ACM, ce qui rend cette variable difficilement interprétable.

Tout d'abord on note une corrélation entre les espèces de Tephritidae (variable « sp ») et leur régime alimentaire (variable « gr.sp ») : oligophages (Nc, Dd, Bc) ou polyphages (Bz, Ct, Cp, Cr).

L'espèce *N. cyanescens*, qui a une durée de développement larvaire et un poids de pupes moyens, est corrélée avec la tomate (variable « fruit »). Les espèces *D. demmerezii* et *B. cucurbitae*, qui ont une durée de développement larvaire plus rapide et un poids de pupes important, sont corrélées avec la courgette.

Les quatre espèces polyphages, très proches, ont une durée de développement larvaire plutôt longue et un poids de pupes assez faible. La goyave, le badamier et la mangue sont corrélés avec ces espèces.

2.2. Analyse des paramètres étudiés pour chaque espèce de Tephritidae selon le fruit proposé

Les résultats qui suivent sont à interpréter avec prudence, puisque le nombre d'individus (n) pris en compte est parfois très faible, d'où des erreurs standards parfois importantes (voir

Annexe 5).

2.2.1. Survie larvaire et pupale (Annexe 5 Figure 1)

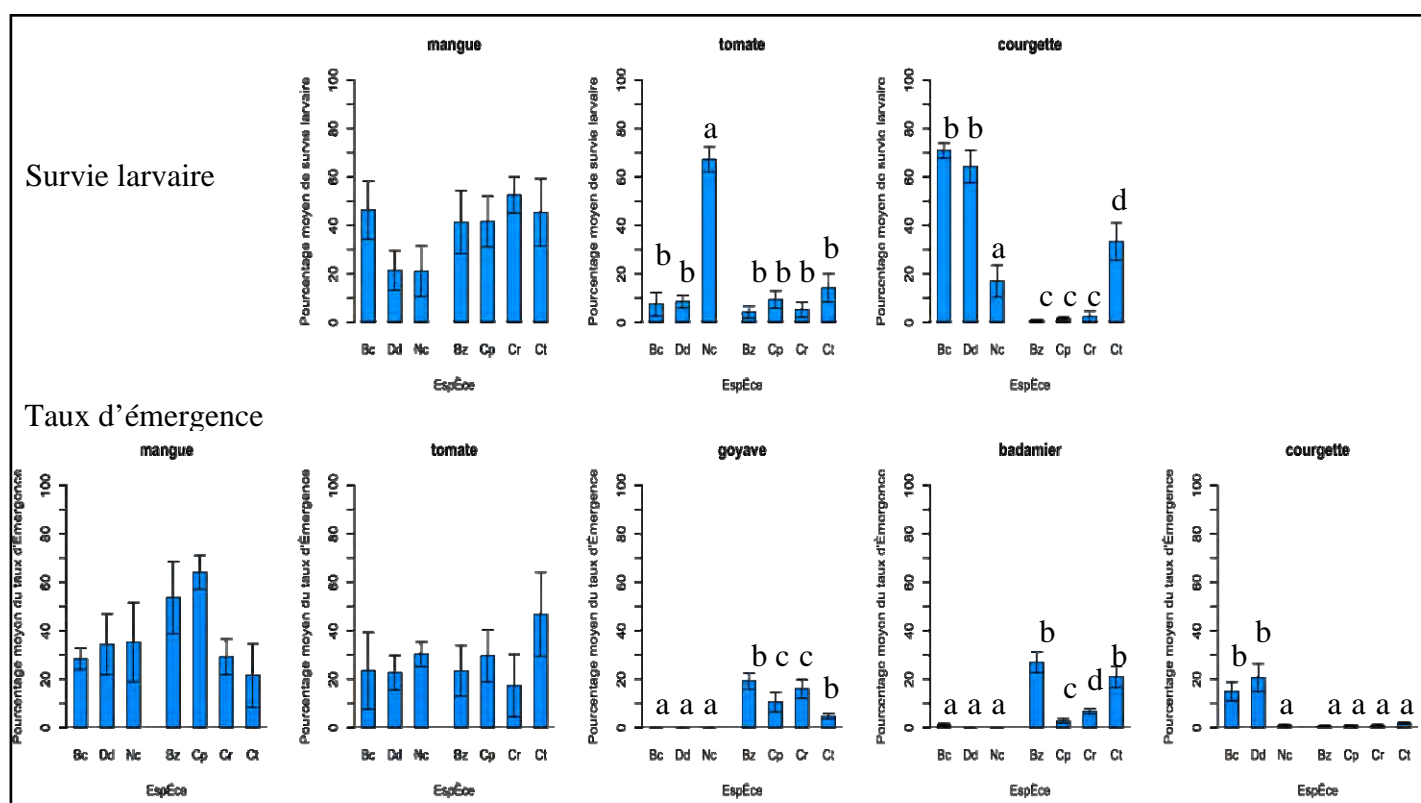


Figure 30 : Taux de survie larvaire et taux d'émergence des différentes espèces de Tephritidae dans chaque fruit, avec les erreurs standard. Pour un fruit donné, une lettre (a, b, c, d) correspond à un groupe homogène de poids moyen de pupes. (ANOVA et test de Tukey, $P < 0.001$) (H_0 : égalité des moyennes : $P \geq 0,05$ contre H_1 : au moins une moyenne est différente : $P < 0,05$)

Taux de survie larvaire

Les taux de survie larvaire pour la goyave et le badamier n'ont pas pu être calculés car les fruits de ces deux espèces de fruits présentaient beaucoup de contaminations. En effet, lors des récoltes de ces fruits, il était difficile de trouver des goyaves et des badamiers non piqués par les Mouches des fruits. Etant donné que la reconnaissance d'une espèce par l'examen des pupes est difficilement faisable et fiable, les espèces n'ont pu être identifiées qu'après émergence des adultes.

Globalement, les taux de survie larvaire sont plus élevés que les taux d'émergence (**Figure 30**). Malgré des erreurs standard assez importantes, c'est sur la **mangue** qu'on obtient les meilleurs taux de survie, pour les Mouches des fruits s.s. mais aussi pour *B. cucurbitae* (46,2 %). Sur ce fruit on n'observe cependant pas de différence significative entre les taux de survie des différentes espèces ($F = 1,57$; $P = 0,185$). Sur **tomate**, le taux de survie larvaire de *N. cyaneus* est significativement supérieur à celui des autres espèces ($F = 13,49$; $P = 7,24 \times 10^{-8}$). Dans le cas de la **courgette**, les taux sont significativement différents ($F = 38,4$; $P = 5,52 \times 10^{-8}$), avec les témoins *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* présentant les taux les plus élevés (70,8 et 64,2 %), suivi par *C. catovii* (33,2 %).

Taux d'émergence

Les taux d'émergence sont assez faibles dans l'ensemble, mais ce résultat est à interpréter avec prudence car nous avons eu un problème de conservation des pupes. En effet, dans les plaques multi-puits les pupes étaient exposées à une faible humidité relative. Ceci semble avoir affecté leur survie, notamment pour *C. catovii* et *C. capitata*.

Globalement, les meilleurs taux d'émergence sont observés sur la mangue. Toutefois, les erreurs standard sont assez importantes et, de ce fait, ces taux ne sont pas significativement différents entre espèces ($F = 1,57$; $P = 0,185$). Les taux d'émergence de *B. zonata* et *C. capitata* sont respectivement de 53,6 et 62 %. Il est également intéressant de noter que sur la mangue, les trois espèces oligophages ont également un taux d'émergence assez élevé (de 28 à 35 %).

Sur tomate, malgré de faibles taux de survie larvaire (sauf *N. cyaneus*), les espèces présentent un taux d'émergence non négligeable, qui varie de 17 et 47 %, sans que l'on observe de différence significative entre les espèces ($F = 0,83$; $P = 0,552$).

Sur goyave, badamier et courgette, les taux d'émergence diffèrent significativement entre espèces ($F = 27,15$, $P = 8,06 \times 10^{-12}$; $F = 37,31$, $P = 8,50 \times 10^{-14}$ et $F = 16,22$, $P = 7,93 \times 10^{-9}$ respectivement). Sur ces fruits hôtes, les espèces oligophages se distinguent nettement des espèces polyphages (**Figure 30**).

2.1.1. Durée de développement (Annexe 5 Figure 2 et 3)

Dans un premier temps, si l'on considère le pourcentage de la durée totale de développement correspondant à chaque stade immature (œuf, larve et pupe) (**Figure 31**), il est intéressant de voir qu'il existe des différences pour une même espèce selon le fruit choisi.



Figure 31 : Pourcentage représenté par chaque stade pré-imaginal dans la durée totale de développement des différentes espèces de Tephritidae sur chacun des fruits (les durées de développement embryonnaire sont issues du Tableau IV)

Ainsi, pour *C. catovirii*, la durée du développement larvaire représente par exemple de 28 % (badamier) à 50 % (goyave) du total. Au contraire, on observe chez *N. cyanescens* et *C. capitata* des proportions quasiment identiques pour chacun des fruits.

Dans un deuxième temps, au sein d'une même espèce de Tephritidae il existe des variations dans la durée du développement post-embryonnaire (ddpe) : larve + pupe (**Figure 32** et **Tableau XII**).

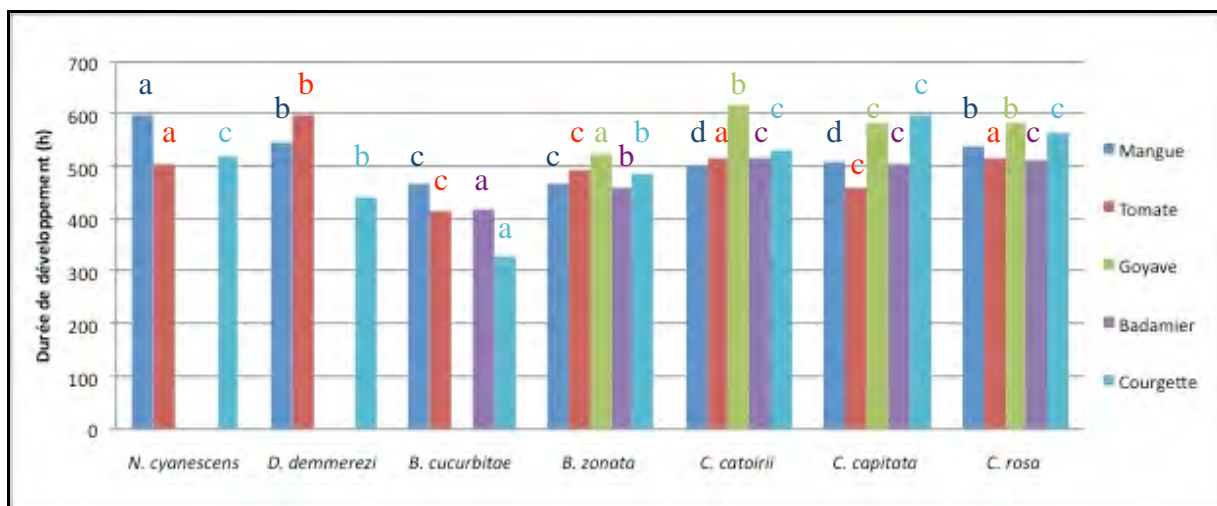


Figure 32 : Durées moyennes de développement post-embryonnaire pour chaque espèce de Tephritidae sur chaque fruit. Pour un fruit donné, une lettre (a, b, c, d) correspond à un groupe homogène de poids moyen de pupes. (ANOVA et test de Tukey, $P < 0.001$) (H_0 : égalité des moyennes : $P \geq 0,05$ contre H_1 : au moins une moyenne est différente : $P < 0,05$)

Espèce	Total (durée de développement pré-imaginale post-embryonnaire: larve + pupes)														
	Mangue			Tomate			Goyave			Badamier			Courgette		
	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n
<i>N. cyanescens</i>	600,7 a	± 4.3	75	506,6 a	± 3.8	88	0	± 0.0	0	0	± 0.0	0	521,2 c	± 13.7	5
<i>D. demmerezi</i>	546,1 b	± 10.3	41	597,9 b	± 40.5	10	0	± 0.0	0	0	± 0.0	0	440,6 b	± 1.7	103
<i>B. cucurbitae</i>	466,8 c	± 9.9	62	416,7 c	± 13.9	9	0	± 0.0	0	420,8 a	± 15.1	5	330,4 a	± 2.1	85
<i>B. zonata</i>	468,9 c	± 8.3	90	495,6 c	± 21.8	9	526,1 a	± 6.6	86	461,9 b	± 3.3	121	486,0 b	± 24.0	2
<i>C. catolirii</i>	500,5 d	± 4.7	69	518,0 a	± 7.6	25	619,4 b	± 24.9	21	515,5 c	± 3.3	94	533,2 c	± 0.2	9
<i>C. capitata</i>	509,9 d	± 8.9	114	458,9 c	± 2.7	14	582,8 c	± 12.7	47	505,8 c	± 20.1	12	600,8 c	± 0.3	4
<i>C. rosa</i>	538,9 b	± 11.4	70	518,4 a	± 12.8	13	583,7 b	± 9.7	71	514,6 c	± 5.5	30	565,0 c	± 63.0	3

Tableau XII: Durées moyennes de développement post-embryonnaire pour chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit. Pour un fruit donné, une lettre (a, b, c, d) correspond à un groupe homogène de poids moyen de pupes. (ANOVA et test de Tukey, $P < 0.001$) (H_0 : égalité des moyennes : $P \geq 0,05$ contre H_1 : au moins une moyenne est différente : $P < 0,05$)

La durée moyenne de développement post-embryonnaire montre des différences significatives entre espèces et entre fruits ($F = 21,90$; $P = 2,2 \times 10^{-12}$). Les quatre espèces polyphages ont des durées de développement peu différentes et variant peu entre les fruits. Ces espèces polyphages ont cependant une durée de développement plus longue sur goyave. Concernant les oligophages, certaines espèces ne se sont pas développées du tout sur certains

fruits (sur goyave : *N. cyanescens*, *D. demmerezi* et *B. cucurbitae* ; sur badamier : *N. cyanescens* et *D. demmerezi*). Pour les trois espèces oligophages, la durée de développement présente de plus fortes variations selon les fruits, sachant que leur gamme alimentaire est plus restreinte.

L'évolution de la distribution de la variable « ddpe » pour chaque espèce dans chaque fruit (**Figure 33**) confirme les groupes effectués suite à l'ANOVA et au test de Tukey. Effectivement, les regroupements peuvent être identifiés sur la **Figure 33** grâce à la proximité des médianes des boîtes à moustaches.

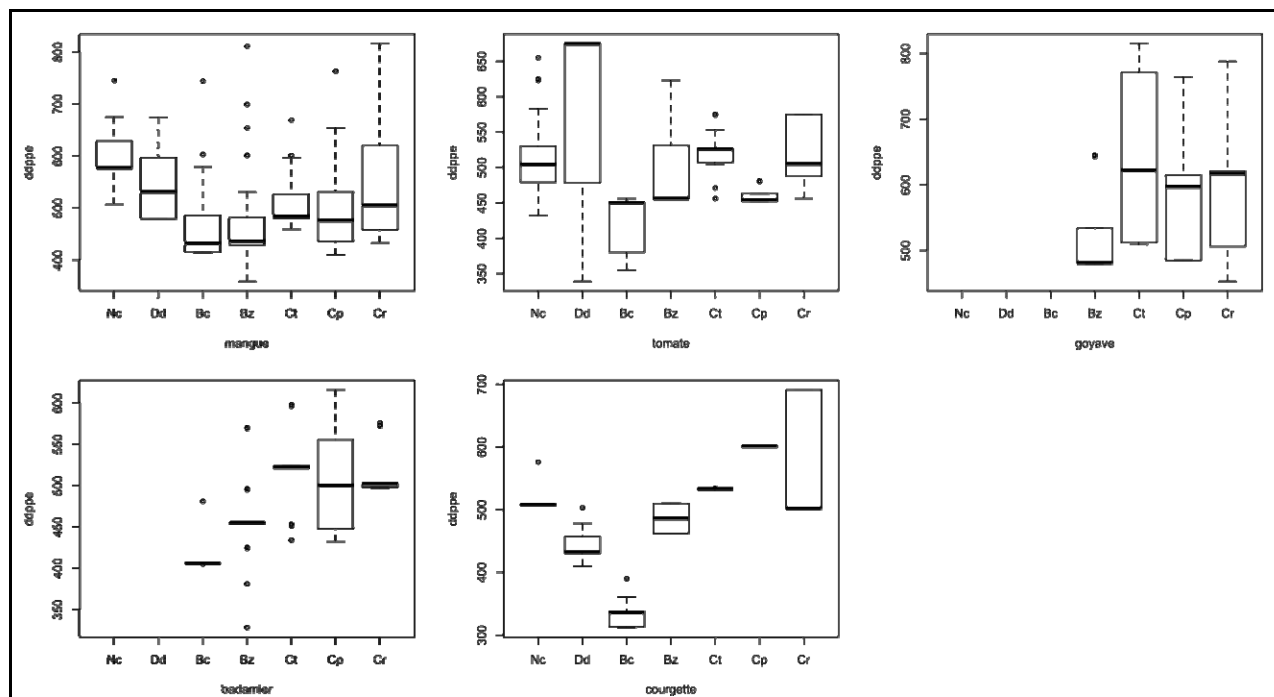


Figure 33: Durée de développement post-embryonnaire des différentes espèces de Tephritidae sur chaque fruit

2.1.2. Poids pupal (Annexe 5 Figure 4)

Si l'on regarde l'évolution du poids des pupes de chaque espèce de Tephritidae selon le fruit (**Figure 34**), on observe tout d'abord de faibles variations dans le poids des quatre espèces polyphages et de fortes variations pour les trois espèces oligophages. Sur mangue les espèces de Tephritidae montrent une distribution assez homogène de la gamme de poids (boîtes assez réduites), avec un poids moyen d'environ 10 mg pour toutes les espèces, sauf pour *D. demmerezi* (17,5 mg). Au contraire, sur badamier, les différentes espèces présentent des gammes de poids plus larges, avec des poids de pupes supérieurs à 10 mg pour *B. cucurbitae* (peu d'individus) et pour *C. rosa*. Sur les fruits où elle peut se développer, *D. demmerezi* constitue l'espèce présentant le poids pupal moyen est le plus important.

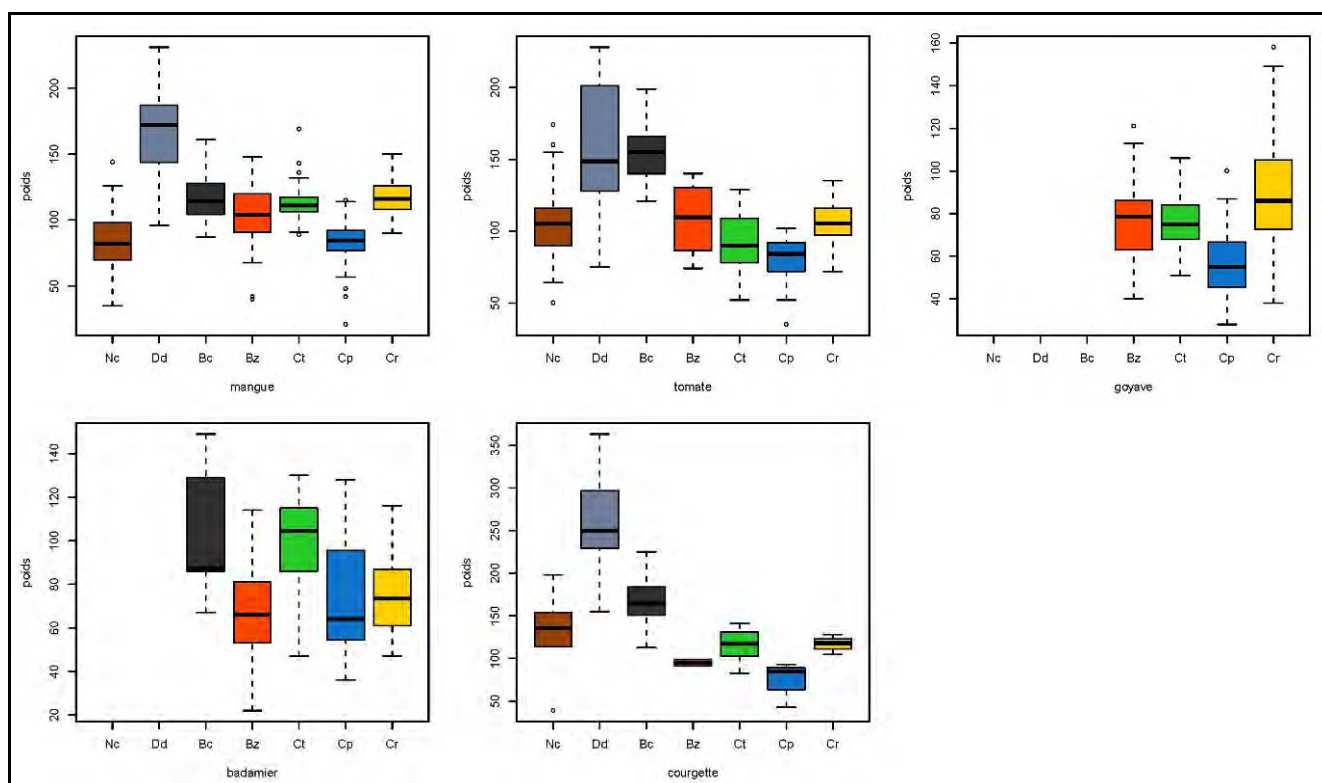


Figure 34: Poids pupal des différentes espèces de Tephritidae dans chaque fruit

La fréquence de distribution du poids des pupes de chaque espèce sur chaque fruit est représentée sur la **Figure 35** par une densité de probabilité (probabilité d'appartenir à une classe de poids pupal particulière). Pour tous les fruits, les poids de pupes sont significativement différents entre espèces (mangue : $F=128,4$ et $P=2 \times 10^{-16}$; tomate : $F=17,9$ et $P=7 \times 10^{-16}$; goyave : $F=27,4$ et $P=4 \times 10^{-15}$; badamier : $F=35,5$ et $P=2 \times 10^{-16}$; courgette : $F=75,6$ et $P=2 \times 10^{-16}$). Les espèces oligophages ont une gamme de poids de pupes beaucoup plus étendue et plus de différences entre espèces, contrairement aux espèces polyphages qui ont une gamme plus réduite et sont semblables entre elles.

Le poids moyen des pupes de *N. cyanescens* varie entre 7 mg (sur mangue) et 10 mg (sur tomate). Le poids moyen des pupes de *B. cucurbitae* varie entre 10 (sur mangue) et 15 mg (sur tomate et courgette) et celui des pupes de *D. demmerezi* entre 17 (sur mangue) et 24 mg (sur courgette).

Le poids des pupes de *C. capitata* varie entre 5 (sur goyave) et 9 mg (sur tomate) alors que celles de *B. zonata*, *C. catovirii* et *C. rosa* ont des poids voisins, allant de 8 (sur goyave) à 12 mg (sur mangue et courgette).

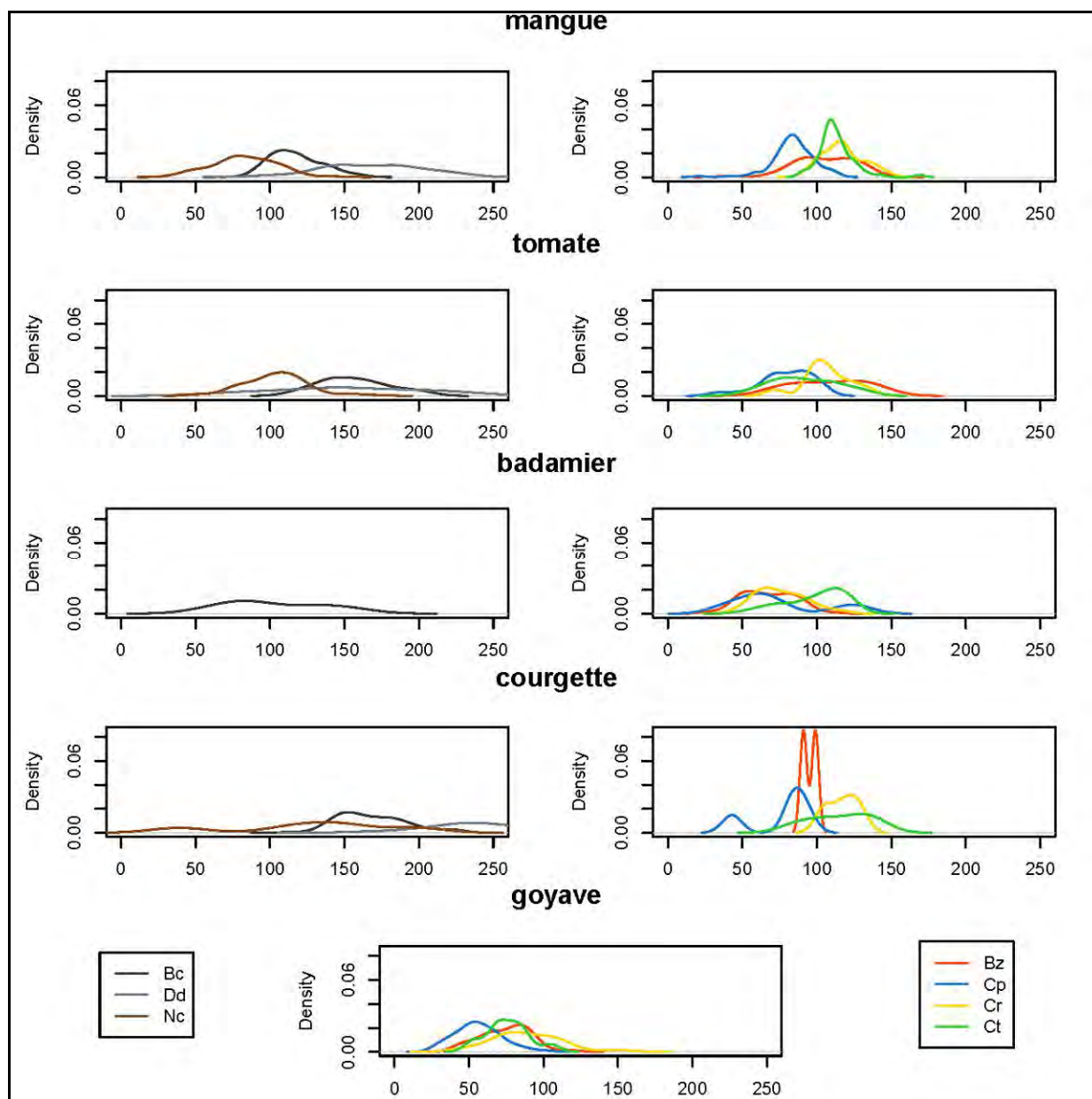


Figure 35: Evolution de la densité de poids des pupes (10^{-4} g) pour chaque espèce de Tephritidae sur chaque fruit

2.1.3. Sexe ratio (Annexe 5 Figure 5)

Le sexe ratio est représenté sur la **Figure 36**, avec le pourcentage de chaque sexe, pour chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit étudié.

Sur mangue, le nombre de mâles et de femelles n'est pas significativement différent entre espèces (femelles : $F = 0,36$ et $P = 0,898$; mâles : $F = 0,49$ et $P = 0,809$).

Toutefois, sur tous les autres fruits étudiés, les nombres de mâles et de femelles montrent des différences significatives entre les espèces. Les pourcentages sont à interpréter avec prudence, puisqu'ils dépendent des effectifs (n) qui sont parfois très réduits.

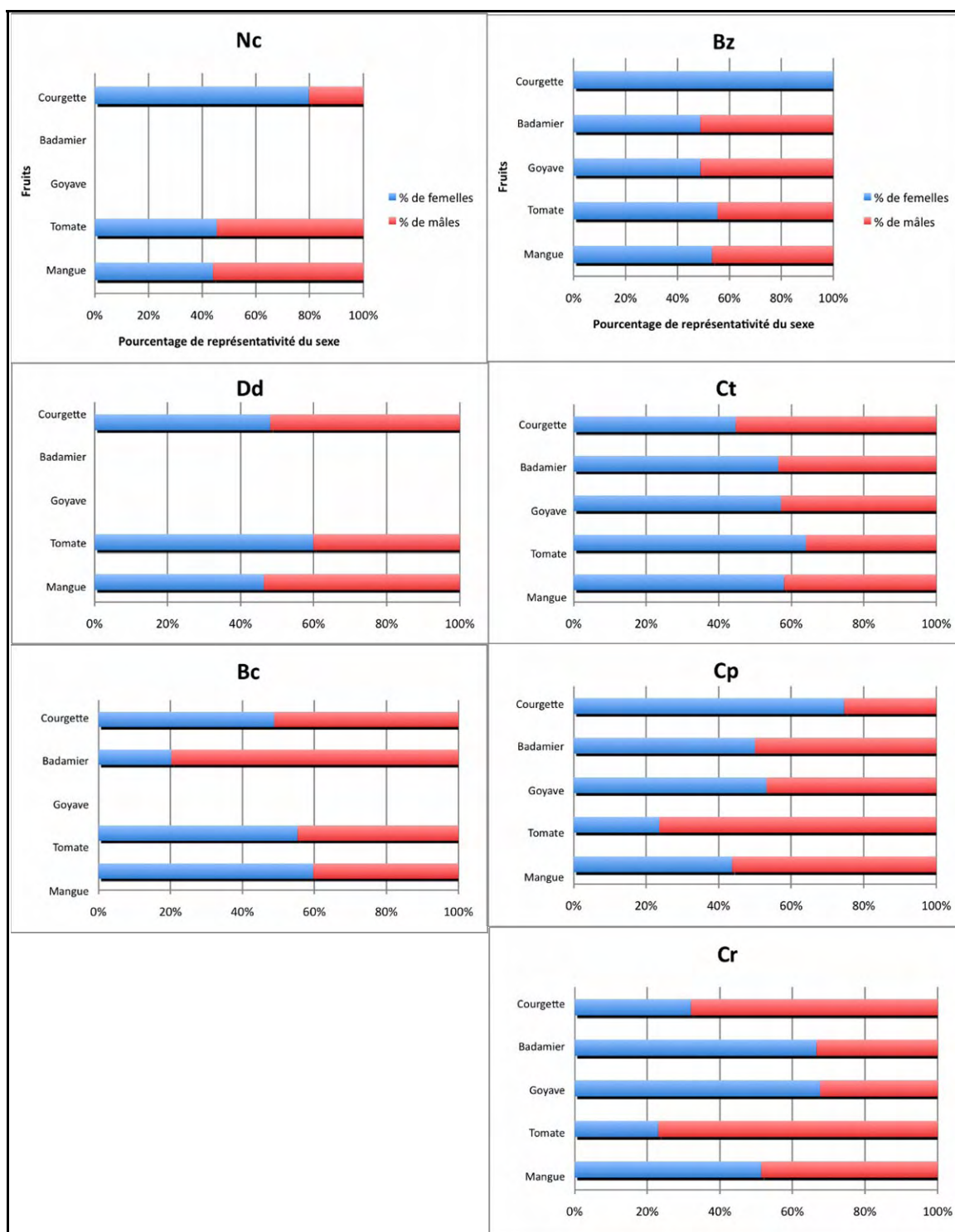


Figure 36: Evolution du sexe ratio pour chaque espèce de Tephritidae sur chaque fruit

3. Discussion

3.1. Spécialisation alimentaire

Certaines des espèces de Tephritidae étudiées se sont développées dans des fruits habituellement non choisis par la femelle pour l'oviposition, comme par exemple *C. catovirii* dans la tomate et la courgette, ou encore *B. cucurbitae*, *D. demmerezii* et *N. cyanescens* dans la mangue. La capacité des insectes phytophages à élargir leur gamme de plantes-hôtes dépend de la spécificité de la physiologie digestive et du comportement des larves, ainsi que des préférences d'oviposition de la femelle. Des changements génétiques de ces deux caractéristiques seraient nécessaires pour qu'une espèce accepte un nouvel hôte (Fitt, 1986). L'extension de la gamme d'hôtes pourrait en fait être dirigée par des adaptations physiologiques, anatomiques et comportementales facilitant l'exploitation de nouvelles ressources (Erbout *et al.*, 2009).

La valeur nutritive du fruit a donc un impact majeur sur le développement des larves. On sait par exemple que certains sucres comme le glucose, le fructose et le sucrose sont importants pour le développement des larves de *C. capitata* (Fernandes-da-Silva & Zucoloto, 1993). La qualité de la plante-hôte peut affecter la croissance et la survie des larves ainsi que la fécondité ultérieure de la femelle adulte, affectant par exemple la production d'œufs lors de la phase de pré-oviposition (Fernandes-da-Silva & Zucoloto, 1997). La composition nutritionnelle du fruit joue donc un rôle important dans les variations observées de la durée de développement et du poids des pupes au sein d'une même espèce de Tephritidae. Dans ce travail, les impacts éventuels sur la fécondité n'ont pas été pris en compte.

Notre travail montre que les espèces oligophages présentent de plus grandes variations au niveau des caractéristiques étudiées que les espèces polyphages. Ceci s'explique par leur gamme de plantes-hôtes restreinte à une seule famille de plantes. Les espèces polyphages sont en fait multivoltines (plusieurs générations par an) et ne présentent pas de diapause (période de vie ralentie en réponse anticipée à des variations de l'environnement). Ces espèces sont donc confrontées à différents environnements au cours de l'année et à différents fruits selon les saisons (Bateman, 1972). Les espèces oligophages effectuent une diapause et sont plutôt univoltines, mais aucune étude n'a été effectuée sur le nombre de générations par an des espèces oligophages ; toutefois elle seraient capables de faire plusieurs générations par an (Quilici, communication personnelle). La plus grande difficulté rencontrée par ces espèces est

donc de s'adapter à la période de fructification de leurs plantes-hôtes (Duyck *et al.*, 2008). C'est ainsi que les Mouches des fruits s.s. étudiées ici présentent moins de variations dans les caractéristiques étudiées, puisque leurs larves sont plus susceptibles de se développer dans des fruits qui ne sont pas des fruits-hôtes dans la nature.

3.2. Sélection de la plante hôte

La possibilité pour certaines espèces de Tephritidae de se développer dans des fruits non-hôtes confirme les conclusions de Wiklund (1975) sur *Papilio machaon* (**Figure 14**) : l'étendue du régime alimentaire de la larve est souvent plus large que la gamme de plantes acceptables comme support de ponte par la femelle adulte. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'acceptabilité d'un fruit par des larves de Tephritidae : la texture du fruit (Fitt, 1986), la présence de métabolites primaires (carbohydrates, acides aminés) (Schoonhoven *et al.*, 1998) de métabolites secondaires tels que des alcaloïdes (Erbout *et al.*, 2009)..., jouant le rôle de stimulants alimentaires, ou encore la présence de composés toxiques (Fitt, 1986). En effet, une étude récente a démontré qu'une exposition à une concentration moyenne en alcaloïdes réduit la taille des pupes de *Ceratitis fasciventris* (une mouche s'attaquant aux manguiers) et provoque à une forte concentration une réduction importante du nombre de pupes formées (Erbout *et al.*, 2009). Certains composés secondaires peuvent aussi être toxiques pour les bactéries endosymbiotiques associées aux larves (Fitt, 1986). Les fruits étudiés ont des teneurs en sucres et en métabolites secondaires différentes, contenant peut-être des composés toxiques pour certaines espèces, d'où la grande variabilité dans le développement des larves.

Par ailleurs, le stade de maturité du fruit semble être un facteur important pour le développement larvaire, puisque l'évolution de la maturité du fruit s'accompagne d'une variation de sa composition chimique (Fernandes-da-Silva & Zucoloto, 1993). Le stade de maturité des fruits étudiés a parfois été un facteur contraignant, puisque nous avons prévu d'inoculer les larves L1 dans des fruits ayant un stade de maturité identique. Ainsi, les différences entre répétitions observées pour la mangue sont sûrement explicables par des différences de maturité entre les fruits utilisés. Pour les autres espèces de fruits, une attention particulière a été portée à leur stade de maturité. Certains composés secondaires présents dans des fruits non mûrs peuvent inhiber la croissance et la survie des larves de Tephritidae (Fitt, 1986). Ceci pourrait expliquer les très faibles taux de développement des larves (sauf celles de

N. cyanescens) dans les tomates vertes utilisées dans cette étude. Ce stade de maturité a cependant été choisi car c'est le stade préférentiel pour la ponte des femelles dans la nature (Brévault, 1999).

3.3. Taux de survie

Sur mangue, les taux de survie larvaire et d'émergence ne sont pas significativement différents entre espèces, et sont globalement élevés et assez peu variables, même pour les Mouches des légumes dont les femelles ne pondent pas dans ce fruit. La mangue est un fruit qui a une valeur nutritive relativement élevée pour les larves des Mouches des fruits (Duyck *et al.*, 2008). Des analyses chimiques ont montré que la mangue contient une forte proportion de sucres (14 %) par rapport à la goyave (5 %) (Favier *et al.*, 1993). La présence de sucres pourrait permettre une meilleure ingestion de la chair du fruit par les larves et augmenter ainsi la valeur nutritive du fruit-hôte (Fernandes-da-Silva & Zucoloto, 1997). La mangue est donc un fruit apprécié des Tephritidae puisqu'elle fournit beaucoup de sucres pour le développement larvaire, ce qui permet à l'insecte d'accumuler des réserves pour le stade adulte.

Cependant, les espèces de Tephritidae étudiées semblent différer dans leur capacité à tolérer des fruits moins nutritifs que la mangue (goyave, badamier et goyavier). En effet une étude récente sur les Mouches des fruits s.s. a montré que cette capacité varie selon les espèces : *C. rosa* est relativement tolérante vis-à-vis de ces autres fruits, mais *C. capitata* y est très sensible, avec un plus faible développement (Duyck *et al.*, 2008). On retrouve bien dans les cinq fruits étudiés cette tendance mais c'est *C. catovirii* qui semble être l'espèce polyphage la plus tolérante, avec des taux de survie plus importants (33 % de survie larvaire dans la courgette, 47 % d'émergence dans la tomate, ...).

Les taux d'émergence obtenus sont globalement assez faibles avec un maximum de 64 % toutes espèces confondues. De ce point de vue, en dehors d'une éventuelle mortalité due aux manipulations et à des variations du stade de maturité des fruits, le facteur le plus contraignant a sans doute été l'humidité relative. Effectivement, une humidité relative élevée est favorable à une bonne survie des pupes, pour les Mouches des fruits, avec tout de même une variabilité selon les espèces (Duyck *et al.* 2006). Une étude est en cours de réalisation pour les Mouches des légumes (C. Jacquard/Cirad) car la survie pupale peut décroître dans des conditions plus sèches. *Ceratitis catovirii* et *C. rosa* sont assez sensibles à la dessiccation tandis

que *C. capitata* et *B. zonata* sont relativement tolérantes (Duyck *et al.*, 2006b). Ces différences de tolérance ne sont pas vraiment visibles dans cette étude, au vu des contaminations induites par les fruits piqués (goyaves, badamiers) et des variations importantes entre répétitions parfois observées. Cependant, un trop faible taux d'humidité relative est probablement responsable des faibles taux d'émergence observés sur courgette chez *B. cucurbitae* et *D. demmerezi* (15 et 20 % respectivement), qui auraient dû être bien plus élevés puisque ces espèces ont été choisies comme témoins pour ce fruit

On obtient sur mangue des durées de développement post-embryonnaire généralement plus courtes que dans les autres fruits et uniformément réparties, ce qui confirme la préférence alimentaire des Tephritidae pour ce fruit (Duyck *et al.*, 2008).

3.4. Durée de développement

Pour chaque fruit, les durées de développement (larvaire, pupal, et post-embryonnaire) sont significativement différentes entre espèces. La variation de durée de développement au sein d'une même espèce pour les différents fruits est en partie liée à la qualité de la plante-hôte. Carey (1984) a montré que le temps de développement larvaire de *C. capitata* à 25 °C passe d'environ une semaine sur un hôte favorable tel que la mangue, à plus de trois semaines sur le coing (*Cydonia oblonga* Miller). Par ailleurs, Muniz (1987) n'a pas trouvé de différences significatives dans le temps de développement larvaire (à 26°C) de *C. capitata* entre une colonie issue du laboratoire, élevée depuis 19 ans, et une population sauvage (Duyck & Quilici, 2002). Même si nos expérimentations ont été conduites uniquement en laboratoire et en conditions contrôlées, on peut penser que dans la nature les durées de développement seraient proches de celles que nous avons obtenues. Cependant dans la nature, la durée de développement peut être modulée par d'autres facteurs tels que la compétition intra ou interspécifique ou encore les conditions climatiques...

3.5. Poids des pupes

Le poids représente un paramètre qui cumule divers avantages : il est facile à mesurer, il est relié à la fécondité des femelles et négativement corrélé à la durée du développement larvaire (sauf dans le cas de la mangue). Une courte durée de développement larvaire signale, en général, un fruit-hôte favorable (Quilici, communication personnelle).

Le poids des pupes est significativement différent entre espèces pour chacun des fruits étudiés. Diverses études ont montré une relation linéaire entre le poids des pupes et la fécondité des femelles de *C. capitata* (Krainacker *et al.*, 1989), et de *C. rosa* (Duyck *et al.*, 2006b). Nous disposions toutefois de trop peu de temps pour conserver les femelles émergées et étudier leur fécondité afin de vérifier cette relation.

L'ACP a révélé une relation négative entre la durée de développement larvaire et le poids des pupes (toutes espèces confondues). Une telle relation avait déjà été démontrée pour les quatre Mouches des fruits s.s., dans la goyave, le badamier et le goyavier de Chine (Duyck *et al.*, 2008). Cependant cette relation n'a pas été observée dans la mangue. Pour ce fruit, le poids des pupes semblent est constant lorsque la durée de développement larvaire augmente (Duyck *et al.*, 2008). La très bonne qualité nutritive de la mangue pourrait expliquer cette observation.

Chapitre IV - Bilan personnel

1. Difficultés rencontrées

L'une des difficultés les plus importantes a été la disponibilité de certains fruits. Basée sur des lieux de prélèvement déjà connus par l'équipe d'entomologie du Cirad, la récolte des fruits pour les expérimentations a quelques fois été difficile, en particulier pour les mangues, les goyaves et les badamiers. La période de forte productivité de ces fruits étant sur le point de se terminer, ceux-ci n'étaient pas très abondants lors de la récolte. De plus, pour les goyaves et les badamiers, fruits particulièrement appréciés des Mouches des fruits s.s., il est quasiment impossible de trouver ces fruits non piqués dans la nature. Probablement, les contaminations engendrées *in situ* ont influées sur le développement des larves inoculées lors des expérimentations.

D'autre part, la difficulté de maintenir un fort taux de reproduction pour certaines des espèces, à l'intérieur des chambres climatiques du Cirad de Saint-Pierre, a engendré une disparition de l'élevage de *Dacus ciliatus*, (la Mouche Ethioienne des Cucurbitaceae) durant la période du stage.

De plus, la méthode de conservation des pupes dans des plaques multipuits s'est avérée non adéquate pour certaines espèces. En effet, les exigences varient fortement d'une espèce à l'autre, notamment concernant l'humidité relative nécessaire au bon développement des pupes. Les plaques multipuits, contenant une puce par puits, sont donc pratiques d'utilisation mais une fois refermées, l'humidité n'est souvent pas assez importante.

2. Si c'était à refaire...

Tout d'abord, l'ordre d'utilisation des fruits serait légèrement différent : mangue > goyave > badamier > tomate > courgette (au lieu de mangue > tomate > goyave > badamier > courgette). En effet, il aurait été préférable d'utiliser la goyave et le badamier avant la tomate, pour des questions de disponibilité sachant que tout au long de l'année les tomates sont disponibles en serres.

De plus, pour éviter des problèmes de faibles taux d'éclosion, le stade œuf n'a pas été pris en compte lors de ce stage. Cependant, au cours d'une expérience préliminaire, il aurait été intéressant d'inoculer directement les œufs dans la pulpe des fruits afin de connaître les différents niveaux d'éclosion selon les fruits choisis. Egalement, une mise en situation de ponte de femelles dans chacun des fruits étudiés aurait pu permettre d'estimer l'attraction de chaque fruit pour chaque espèce.

Un conditionnement des pupes dans un milieu externe plus humide aurait donc permis un développement plus optimal de celles-ci, en prenant en compte les besoins en humidité relative de chacune des espèces (données disponibles pour le moment uniquement pour les Mouches des fruits s.s.).

De plus, le nombre de répétitions devrait être plus élevé, car il s'avère qu'avec six répétitions il est difficile d'interpréter avec certitude certaines tendances, puisqu'entre les six répétitions il y avait souvent d'importantes différences. Un nombre de répétitions équivalent à dix serait plus interprétable statistiquement.

Enfin, une gamme de fruit plus large aurait contribué à une meilleure interprétation du développement des larves de chaque espèce dans des fruits non-hôtes. Il serait par exemple intéressant d'estimer leur développement dans la chayotte (*Sechium edule*), fruit extrêmement répandu sur cette île.

3. Côté positif

Mon première stage, effectué à l'Institut de Recherche en Biologie Végétale (Jardin Botanique de Montréal, Québec, Canada) m'a permis d'avoir une première approche du monde de la recherche, par l'étude de caractères morphologiques permettant de différencier trois espèces d'Asteraceae très proches. Mon deuxième stage sur le terrain à Madagascar, portant sur la conservation de quatre espèces de palmiers endémiques en voie de disparition, m'a permis de découvrir le monde associatif (stage réalisé avec l'Association de Défense de la Forêt d'Ambodiriana). De plus, mon mémoire bibliographique sur l'agroécologie (M2S3) ainsi que ce dernier stage effectué au Cirad m'ont confirmé le goût pour la recherche scientifique, notamment pour le domaine de la lutte contre les bioagresseurs et la nécessité de trouver des solutions alternatives à l'agriculture conventionnelle.

C'est pourquoi je désire poursuivre mon cursus en Doctorat. Je suis actuellement dans l'attente d'une réponse pour une allocation de formation doctorale de la Région Réunion, pour une thèse portant sur les relations insecte-plante chez les Dacini (Diptera, Tephritidae) nuisibles aux Cucurbitaceae : stimuli attractifs et comportement de ponte.

Tout d'abord, il est important de préciser que ce stage s'est déroulé dans des conditions idéales, puisque le Pôle de Protection des Plantes est une structure récente, et puisque l'équipe d'entomologie du laboratoire d'Ecologie Terrestre et de Lutte Intégrée est très dynamique, accueillante et chaleureuse. Ainsi, j'ai pu bénéficier tout au long de mon stage du matériel nécessaire, d'une structure technique innovante et de l'aide de chacun des membres de l'équipe.

Conclusion

L'étude des insectes phytophages, notamment dans le cas des ordres d'insectes holométaboles* comme les Lepidoptera et les Diptera, est souvent limitée à leur développement dans leurs plantes-hôtes, sans prendre en compte une éventuelle gamme plus large de plantes hôtes potentielles. La présente étude a montré qu'en conditions contrôlées, la gamme de plantes favorable au développement des larves des espèces de Tephritidae étudiées est plus large que la gamme de plantes choisie par la femelle pour la ponte.

Bien que *B. cucurbitae* ait incontestablement à La Réunion un régime alimentaire oligophage centré sur les Cucurbitaceae, cette étude montre que, comme dans sa zone d'origine asiatique et en Afrique de l'Ouest, son régime alimentaire montre une tendance à la polyphagie. En effet, elle présente par exemple des taux de survie assez élevés sur la mangue (Anacardiaceae) et la tomate (Solanaceae). Des études complémentaires sur le cycle de développement complet dans d'autres fruits fréquemment rencontrés à La Réunion permettraient de mieux analyser les différences de régime alimentaire de cette espèce entre l'île de La Réunion et sa zone d'origine.

A l'heure actuelle, *C. catoirii* n'est rencontrée que très rarement dans la nature et pourrait être en voie d'extinction, ce qui semble avéré à l'île Maurice (White *et al.*, 2000). Ceci est probablement dû aux invasions successives d'espèces de Tephritidae, la dernière étant celle de *B. zonata* en 1991 (White *et al.*, 2000), et aux problèmes de compétition interspécifique consécutifs (Duyck *et al.*, 2006b). Les taux de survie assez élevés de cette dernière espèce dans les différents fruits étudiés montrent que la gamme de plantes-hôtes acceptées par les larves est plus large que celle choisie par la femelle dans la nature.

La gamme de plantes favorables au développement des larves dans des fruits non-répertoriés comme hôtes dans la nature souligne les possibilités variables d'évolution de ces gammes de plantes-hôtes dans le temps. Toutefois, dans la nature, la multitude de microclimats présents sur l'île de La Réunion, liée à de grandes différences de température, d'altitude et d'humidité, conditionne sans doute le développement larvaire des espèces et limite peut-être l'utilisation de plantes alternatives non choisies habituellement par la femelle.

Par ailleurs, il serait intéressant d'approfondir les études sur le sexe-ratio chez les espèces de Tephritidae nuisibles à La Réunion, aucune étude n'ayant été consacrée à ce sujet jusqu'à maintenant, pour voir si, lors d'une ponte, il y a autant de femelles que de mâles. Ainsi, il serait par exemple possible de montrer une éventuelle différence de poids pupal entre mâles et femelles. De plus, il serait intéressant, lors d'études futures, de prendre en compte le stade œuf, pour une meilleure compréhension du développement pré-imaginal des espèces. En outre, des expériences sur le comportement de ponte avec des femelles en cage en situation de choix permettrait d'estimer l'attractivité relative de chaque fruit (hôte ou non-hôte) pour les différentes espèces.

Bibliographie

- AGRESTE, 2004.** Mémento statistique agricole. La Réunion (résultats 2003). *Direction de l'Agriculture et de la Forêt*
- BATEMAN, M. A., 1972.** Ecology of fruit flies. *Annual Review of Entomology* **17**, 493-518
- BREVAULT T., 1999.** Mécanismes de localisation de l'hôte chez la mouche de la tomate, *Neoceratitis cyanescens*. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier, France, 139pp
- BRÉVAULT, T., QUILICI, S., 2000.** Relationships between temperature, development and survival of different life stages of the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **94**, 25-30
- BREVAULT, T., DUYCK P. F., QUILICI, S., 2008.** Life-history strategy in an oligophagous tephritid: the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. *Ecological Entomology* **33**, 529-536
- BERNAYS, E. A., CHAPMAN, R. F., 1994.** Host-plant selection by phytophagous insects. Chapman & Hall, New York, London, 312 pp
- BUNGE-VIVIER, V., 1993.** Impact économique des mouches des fruits à La Réunion et perspectives de la lutte raisonnée, Mémoire de DAA. « Protection des cultures », ENSA/CNEARC, Montpellier, France, 59pp
- CAREY, J. R., 1984.** Host-specific demographic studies of the Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata*. *Ecological Entomology* **9**, 261-270
- DUYCK, P. F., QUILICI, S., 2002.** Survival and development of different life stages of three *Ceratitidis* spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Bulletin of Entomological Research* **92**, 461-469
- DUYCK, P. F., STERLIN, J. F., QUILICI, S., 2004.** Survival and development of different life stages of *Bactrocera zonata* (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures compared to other fruit fly species. *Bulletin of Entomological Research* **94**, 89-93
- DUYCK P. F., 2005.** Compétition interspécifique et capacités invasives. Le cas des Tephritidae de l'île de La Réunion. Thèse de doctorat: Biologie animale. Saint-Denis, Université de La Réunion, 93 pp
- DUYCK, P. F., DAVID, P., JUNOD., G., BRUNEL, C., DUPONT, R., QUILICI, S., 2006a.** Importance of competition mechanisms in successive invasions by polyphagous Tephritids in La Réunion. *Ecology* **87** (7), 1770-1780

- DUYCK, P. F., DAVID, P., QUILICI, S., 2006b.** Climatic niche partitioning following successive invasions by fruit flies in La Réunion. *Journal of Animal Ecology* **75**, 518-526
- DUYCK, P. F., DAVID, P., PAVOINE, S., QUILICI, S., 2008.** Can host-range allow niche differentiation of invasive polyphagous fruit flies (Diptera: Tephritidae) in La Réunion? *Ecological Entomology* **33**, 439-452
- ERBOUT, N, DE MEYER, M., VANGESTEL, C., LENS, L., 2009.** Host plant toxicity affects developmental rates in polyphagous fruit fly: experimental evidence. *Biological Journal of Linnean Society* **97**, 728-737
- ETIENNE, J., 1973.** Conditions artificielles nécessaire à l'élevage massif de *Ceratitis rosa* (Diptera: Trypetidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata* **16**, 380-388
- FAVIER, J. C., IRELAND-RIPERT, J., LAUSSUCQ, C., FEINBERG, M., 1993.** Table de composition des exotiques, fruits de cueillette d'Afrique. Répertoire general des aliments, Tome 3. Technique & Documentation. Lavoisier, Paris, France, 242 pp
- FERNANDES-DA-SILVA P. G., ZUCOLOTO F. S., 1993.** The influence of host nutritive value on the performance and food selection in *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Physiology* **39 (10)**, 883-887
- FERNANDES-DA-SILVA P. G., ZUCOLOTO F. S., 1997.** Effect of host nutritive value on egg production by *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *Journal of Insect Physiology* **43**, 939-943
- FITT, G. P., 1986.** The role of adult larval specialisations in limiting the occurrence of five species of *Dacus* (Diptera : tephritidae) in cultivated fruits. *Oecologia* **69**, 101-109
- FLETCHER, B. S., 1987.** The biology of Dacine Fruit Flies. *Annual Review of Entomology* **32**, 115-144
- KRAINACKER, D. A., CAREY, J. R., VARGAS, R. I., 1987.** Effect of larval host on life history traits of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. *Oecologia* **73**, 583-590
- KRAINACKER, D. A., CAREY, J. R., VARGAS, R. I., 1989.** Size-specific survival and fecundity for laboratory strains of two tephritid (Diptera: Tephritidae) species: implications for mass rearing. *Journal of Economic Entomology* **82 (1)**, 104-108
- MAY, A. W., 1963.** An investigation of fruit flies (Trypetidae) in Queensland I. Introduction, species, pest status and distribution. Queensland, *Journal of Agricultural Science* **20**, 1-82
- MUNIZ, M., 1987.** Larval development and reproductive characters of field and laboratory populations of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* Wiedl. *Bolletino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura*. Series II **19**, 111-118

- PIMM, S. L., RUSSELL, G. L., GITTLEMAN, J. L., BROOKS, T. M., 1995.** The future of biodiversity. *Science* **269**, 347-350
- QUILICI, S., JEUFFRAULT, E., 2001.** Plantes hôtes des mouches des fruits : Maurice, Réunion, Seychelles. PRMF/COI, Imp. Graphica, St André
- QUILICI, S., 1999.** La mouche méditerranéenne des fruits ou cératite, *Ceratitis capitata* (Wiedemann). Fiche technique sur les ravageurs des cultures dans l'océan Indien, CIRAD
- QUILICI, S., FRANCK, A., 1999.** La mouche du Natal, *Ceratitis rosa* Karsch. Fiche technique sur les ravageurs des cultures dans l'océan Indien, CIRAD
- QUILICI, S., BREVAULT, T., 1999.** La mouche de la tomate, *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi). Fiche technique sur les ravageurs des cultures dans l'océan Indien, CIRAD
- QUILICI S., VINCENOT D., FRANCK A., OHM P., KREITER S., DELVARE G., KASSEBEER C., LEDOUX J.C., 2003.** Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de La Réunion. La Réunion : CIRAD, 168 pp
- SCHOONHOVEN, L. M., JERMY, T., VAN LOON, J. J. A., 1998.** Insect-Plant Biology, from physiology to evolution. Chapman & Hall, London, 409 pp
- SMITH, E.C.S., 1977.** Studies on the biology and commodity control of the banana fruit fly, *Dacus musae* (Tryon), in Papua New Guinea. Papua New Guinea, *Agriculture Journal* **28**, 47-56
- VAYSSIERES, J. F., COUBES, M., 1999a.** The melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett). Technical bulletins on the crop pests of the Indian Ocean region, CIRAD
- VAYSSIERES, J. F., COUBES, M., 1999b.** La mouche des Cucurbitacées, *Dacus demmerezi* (Bezzi). Fiche technique sur les ravageurs des cultures dans l'océan Indien, CIRAD
- VAYSSIERES, J. F., COUBES, M., 1999c.** La mouche Ethiopienne des Cucurbitacées, *Dacus ciliatus* Loew. Fiche technique sur les ravageurs des cultures dans l'océan Indien, CIRAD
- VAYSSIERES, J. F., REY, J. Y., TROARE, L., 2007.** Distribution and host plants of *Bactrocera cucurbitae* in West and Central Africa. *Fruits* **62**, 391-396
- WILKUND, C., 1975.** The evolutionary relationship between adult oviposition preferences and larval host plant range in *Papilio machaon* L. *Oecologia* **18** (3), 185-197
- WHITE, I. M., DE MEYER, M., STONEHOUSE, J. M., 2000.** A review of native and introduced fruit flies (Diptera: Tephritidae) in the Indian Ocean islands of Mauritius, Réunion and Seychelles. *Proceedings of the Indian Ocean Commission Regional Fruit Fly Symposium* (eds N. S. Price & S. I. Seewooruthun), pp 15-21

WHITE, I. M. & ELSON-HARRIS, M. M., 1992. Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. C.A.B. International, Wallingford, United Kingdom, 601 pp

ZUCOLOTO, F. S., 1991. Effects of flavour and nutritional value on diet selection by *Ceratitis capitata* larvae (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Physiology* **37 (1)**, 21-25

Sites Internet:

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

Présentation du Cirad en 2007

http://www.cirad.fr/fr/le_cirad/pdf/cirad07.pdf

Consulté le 25 juin 2009

Présentation du Cirad à la Réunion

http://www.cirad.fr/reunion/content/download/1587/9574/file/PlaqDR_Reunion-logo.pdf

<http://www.cirad.fr/reunion/content/download/1585/9565/file/Faits%20marquants%202007.pdf>

Consultés le 26 juin 2009

Présentation du Pôle de Protection des Plantes

<http://umr-pvbmt.cirad.fr/content/download/2506/16621/file/3P-120209.pdf>

Consulté le 5 juillet 2009

Chapitre II : Mémoire bibliographique

Superficies cultivées

<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R97408D05.pdf>

Consulté le 5 juillet 2009

Direction de l'Agriculture et de la Forêt de La Réunion

http://daf974.agriculture.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=134

Consulté le 7 juillet 2009

Programme régional de protection des végétaux dans l'Océan Indien (PRPV), 2005

http://www.prpv.org/index.php/fr/pays_et_partenaires/reunion_france

Consulté le 7 juillet 2009

Glossaire

Aculeus	Partie perforante (pénétrante) de l'ovipositeur de la femelle, qui est normalement rétracté dans l'oviscape (Figure 11).
Cirad	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
Copulation	Accouplement du mâle et de la femelle.
Exocarpe	Couche la plus externe du péricarpe (tissu externe) du fruit.
Holométabole	Se dit des insectes qui présentent une métamorphose complète. Dans ce cas, les stades œuf, larve, nymphe et adulte présentent entre eux de profondes différences morphologiques (ex : Diptera, Hymenoptera, ...)
Micropyle	ouverture terminale de l'œuf de certains insectes.
Oligophage	Qualifie un animal qui mange un petit nombre de proies ou de plantes.
Ommatidie	Élément de l'œil composé des arthropodes dit œil à facettes.
Ovipositeur	Appendice abdominal, généralement long et effilé, à l'aide duquel de nombreuses femelles d'insectes déposent leurs œufs dans les endroits les plus favorables à leur incubation (Figure 11).
Oviscapte	Segment basal tubulaire de l'ovipositeur (Figure 11).
Phytophage	Qualifie un animal qui mange des végétaux ou des substances produites par des végétaux.
Polyphage	Qualifie un animal qui mange plusieurs animaux ou végétaux, généralement apparentés.
Scutellum	Dernier segment dorsal du thorax des insectes (Figure 10).
Scutum	Segment central dorsal du thorax des insectes (Figure 10).
Tergite	Plaque dorsale des segments des arthropodes ou sclérites.

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE 1 - Organigrammes du Cirad -

Figure 1 Organigramme du Cirad

Figure 2 Organigramme de l'UMR PVBMT

ANNEXE 2 - Présentation des espèces de Tephritidae étudiées -

ANNEXE 3 - Clé pratique de détermination des Mouches des fruits nuisibles à l'île de La Réunion -

ANNEXE 4 - Présentation des espèces de plantes étudiées -

ANNEXE 5 - Tableaux de données -

Figure 1 Tableau récapitulatif du taux de survie larvaire et du taux d'émergence de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Figure 2 Pourcentages moyens de durées de développement de chacun des stades immatures de chaque espèce dans chaque fruit

Figure 3 Moyennes des durées de développement larvaire, pupale et totale de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Figure 4 Poids moyens des pupes de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Figure 5 Nombre moyen de mâles et de femelles de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

ANNEXE 1

- Organigrammes du Cirad -

Sources :

Figure 1 : www.cirad.fr (Visité le 21/07/09)

Figure 2 : <http://umr-pvbmt.cirad.fr/organisation> (Visité le 21/07/09)

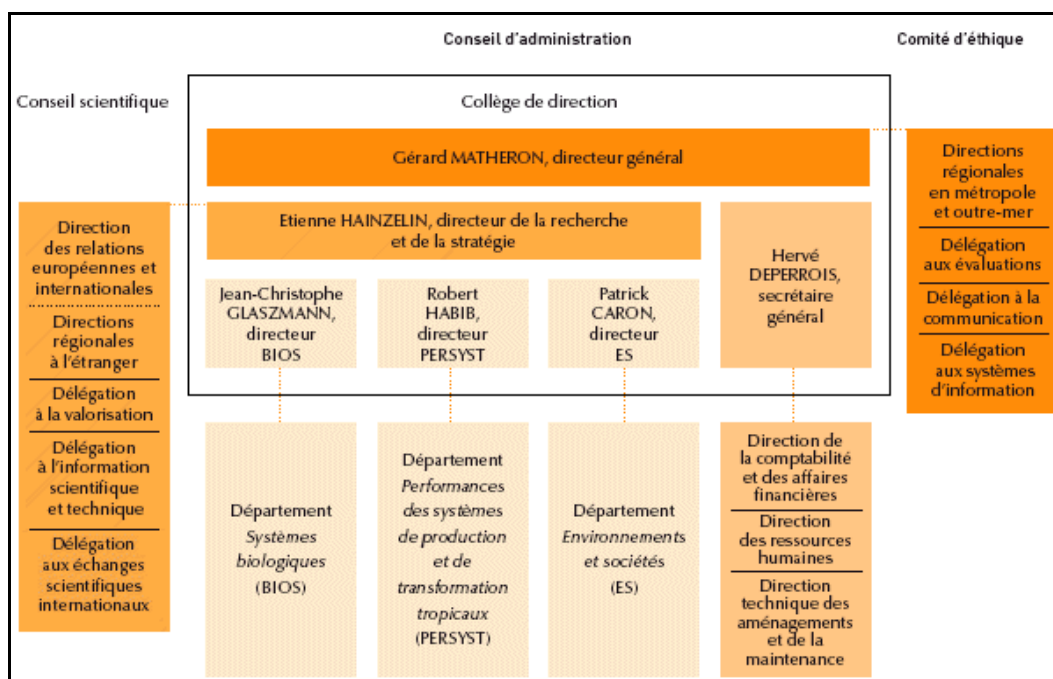


Figure 1 : Organigramme du Cirad

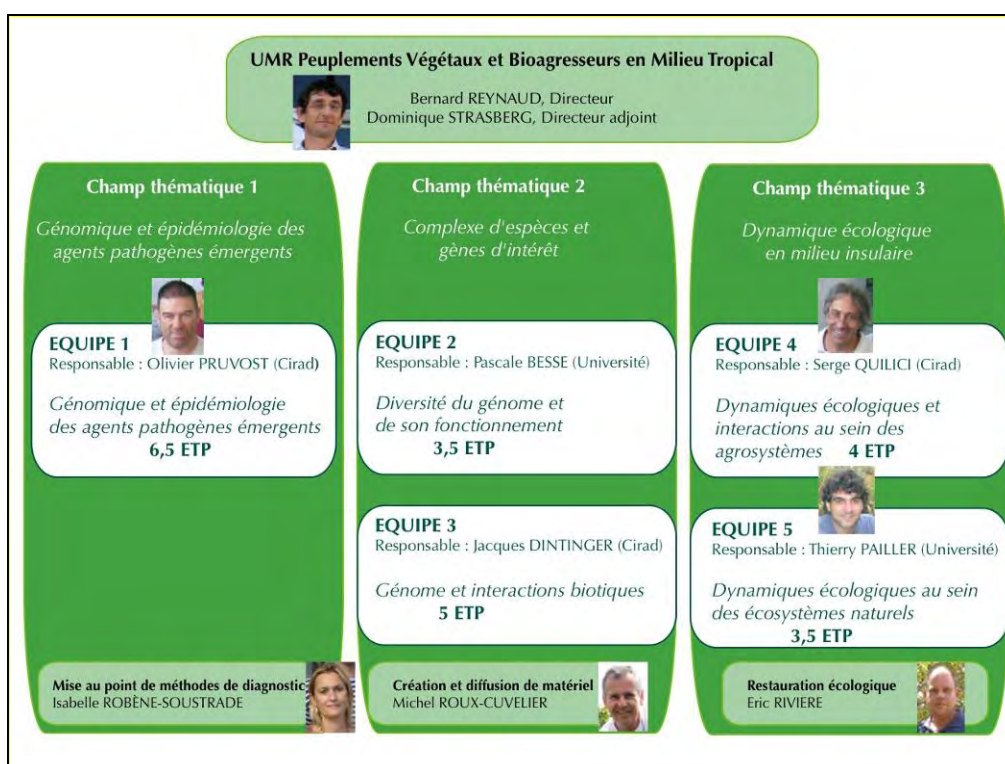


Figure 2 : Organigramme de l'UMR PVBMT

ANNEXE 2

- Présentation des sept espèces de Tephritidae étudiées -

Sources :

Quilici, S. & Jeuffrault, E. 2001

Brévault, T., Quilici, S. 2000b









Vayssières, J.F., Coubes, M. 1999a

Vayssières, J.F., Coubes, M. 1999b









Vayssières, J.F., Coubes, M. 1999c

Duyck, P.F., Sterlin, J.F., Quilici, S. 2004

Les Mouches des fruits s.s.

<u>espèces</u>	<i>B. zonata</i>	<i>C. catoirii</i>	<i>C. capitata</i>	<i>C. rosa</i>
<u>origine</u>	Inde	Archipel des Mascareignes	Afrique du Sud-Est	Afrique du Sud-Est
<u>répartition</u>	Nombreux pays d'Asie tropicale, péninsule arabique, Egypte...	Réunion (disparue de l'île Maurice)	Très nombreux pays du monde (région tropicale et subtropicale)	Afrique du Sud et de l'Est, Mascareignes
<u>date de découverte à La Réunion</u>	1991	indigène	1939	1955
<u>plantes hôtes recensées</u>	2 plantes hôtes (mangue et badamier)	4 plantes hôtes (goyave, goyavier de Chine, badamier, takamaka des Hauts)	43 plantes hôtes (mangue, pêche, goyave, bibasse, caféier agrumes...)	57 plantes hôtes (manguier, cœur de bœuf, corossol, badamier, tamarin de l'Inde, cerise à côtes, goyavier, goyave, bibasse...)
<u>photos</u>	 <p>Mâle de <i>B. zonata</i> http://www.prpv.org</p>  <p>Femelle de <i>B. zonata</i> http://www.prpv.org</p>	 <p>Mâle de <i>C. catoirii</i> (A. Franck/Cirad)</p>  <p>Femelle de <i>C. catoirii</i> http://esapubs.org</p>	 <p>Mâle de <i>C. capitata</i> http://aramel.free.fr</p>  <p>Femelle de <i>C. capitata</i> http://agspsv34.agric.wa.gov.au</p>	 <p>Mâle de <i>C. rosa</i> http://www.prpv.org</p>  <p>Femelle de <i>C. rosa</i> http://www.arc.agric.za</p>

Les Mouches des légumes

<u>espèces</u>	<i>N. cyanescens</i>	<i>D. demmerezi</i>	<i>D. ciliatus</i>	<i>B. cucurbitae</i>
<u>origine</u>	Madagascar	Océan Indien	Afrique	Inde
<u>répartition</u>	Océan Indien (Madagascar, Réunion, Maurice, Mayotte)	Madagascar, Maurice, Réunion	Afrique, Asie orientale, péninsule arabique	Asie (Pakistan Chine Taiwan, Indonésie, Philippines) ...
<u>date de découverte à La Réunion</u>	1951	1972	1964	1972
<u>plantes hôtes à la Réunion</u>	8 Solanaceae (tomate, aubergine, piment, poivron, tomate arbuste, bringellier marron, anguive, brède morelle)	13 Cucurbitaceae (concombre, citrouille, calebasse, pipangaille à côtes, margose, chayote, melon, courgette, margosse lisse, pastèque, potiron...)	16 Cucurbitaceae (melon, citrouille, concombre, pipangaille à côtes, calebasse, margose, chayote, pastèque, potiron, margosse lisse, pipangaille lisse, courgette, patole, coloquinte, et Cucurbitaceae sauvages)	17 Cucurbitaceae (melon, citrouille, concombre, chayote...)
<u>photos</u>	 Mâle de <i>N. cyanescens</i> (A. Franck/Cirad)  Femelle de <i>N. cyanescens</i> (A. Franck/Cirad)	 Mâle de <i>D. demmerezi</i> (C. Jacquard/Cirad)  Femelle de <i>D. demmerezi</i> http://www.prvp.org	 Mâle de <i>D. ciliatus</i> http://www.eppo.org  Femelle de <i>D. ciliatus</i> http://www.prvp.org	 Mâle de <i>B. cucurbitae</i> http://www.ars.usda.gov  Femelle de <i>B. cucurbitae</i> (A. Franck/Cirad)

ANNEXE 3

- Clef de détermination des Mouches des fruits nuisibles à l'île de La Réunion -

Sources :

Quilici & Jeuffrault, 2001

Clef pratique de détermination de quelques espèces nuisibles de mouches des fruits d'importance économique



ANNEXE 4

- Présentation des cinq espèces de plantes étudiées -

Sources :

Quilici & Jeuffault, 2001

- Présentation des cinq espèces de plantes étudiées -

<i>Mangifera indica</i> L. (1)	
- Anacardiaceae -	
Nom vernaculaire	Manguier, mangue
Origine	Indo-Malaisie
Description	Arbre de 10 à 30 mètres à feuillage persistant Fruits verts à rouge
Tephritidae	<i>B. zonata</i> (+++) <i>C. rosa</i> (+++) <i>C. capitata</i> (++)
Répartition	Dans les arrières cours, en vergers Jusqu'à 200 mètres d'altitude (Nord et Sud), 400 mètres (Ouest)
Période de sensibilité aux Tephritidae	Décembre à avril



<i>Lycopersicum esculentum</i> L. (2)	
- Solanaceae -	
Nom vernaculaire	Tomate
Origine	Amérique du Sud
Description	Fleurs jaunes Baies rouges
Tephritidae	<i>N. cyanescens</i> (+++) <i>B. cucurbitae</i> (+)
Répartition	Cultivée dans toute l'île
Période de sensibilité aux Tephritidae à La Réunion	Toute l'année

<i>Terminalia catappa</i> L. (3)	
- Combretaceae -	
Nom vernaculaire	Badamier, Noix de Badame, Amande des Antilles
Origine	Îles Andaman (archipel malais) et Nouvelle-Guinée
Description	Arbre de 10 à 12 mètres d'hauteur Fleurs vert-jaunâtre Fruit jaune à maturité
Tephritidae	<i>C. rosa</i> (+++) <i>C. capitata</i> (+++) <i>B. zonata</i> (+++) <i>C. catoinii</i> (++)
Répartition	Bord de mer
Période de sensibilité aux Tephritidae	Janvier à mai et août à octobre

<i>Cucurbita pepo</i> L. (5)	
- Cucurbitaceae -	
Nom vernaculaire	Courgette
Origine	Mexique
Description	Feuilles pétiolées Fruits allongés
Tephritidae	<i>B. cucurbitae</i> (+++) <i>D. ciliatus</i> (+++) <i>D. demmerezii</i> (++)
Répartition	Production maraîchère (dans les Hauts ou dans les Bas) Cultivée toute l'année ver 500 mètres d'altitude
Période de sensibilité aux Tephritidae	Toute l'année

<i>Psidium guajava</i> L. (4)	
- Myrtaceae -	
Nom vernaculaire	Goyave, go(u)yave de France (Créole)
Origine	Amérique centrale et Brésil
Description	Arbre jusqu'à 8 mètres d'hauteur Fleurs blanches Fruit jaune
Tephritidae	<i>C. rosa</i> (+++) <i>C. capitata</i> (++) <i>C. catoinii</i> (+)
Répartition	Naturalisée de 0 à 600 mètres Présente aussi dans les cirques de Cilaos et Mafate
Période de sensibilité aux Tephritidae	Mars à septembre

ANNEXE 5

- Tableaux de données -

- Figure 1** Taux de survie larvaire et taux d'émergence de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit
- Figure 2** Pourcentages moyens de durées de développement de chacun des stades immatures de chaque espèce dans chaque fruit
- Figure 3** Moyennes des durées de développement larvaire, pupale et totale de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit
- Figure 4** Poids moyens des pupes de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit
- Figure 5** Nombre moyen de mâles et de femelles de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Figure 1 : Taux de survie larvaire et taux d'éclosion de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Espèce	Survie larvaire											
	Mangue			Tomate			Goyave			Badamier		
	Moy. (%)	S.E.	n	Moy. (%)	S.E.	n	Moy. (%)	S.E.	n	Moy. (%)	S.E.	n
<i>N. cyaneus</i>	20,98 ± 10,55	75		67,13 a ± 5,3	88		*	*	0	*	*	0
<i>D. demmerezi</i>	21,28 ± 8,25	41		8,43 b ± 2,67	10		*	*	0	*	*	0
<i>B. cucurbitae</i>	46,22 ± 12,11	62		7,37 b ± 4,95	9		*	*	0	*	*	5
<i>B. zonata</i>	41,27 ± 12,97	90		4,07 b ± 2,51	9		*	*	86	*	*	121
<i>C. catovirii</i>	45,25 ± 13,99	69		14,12 b ± 5,92	25		*	*	21	*	*	94
<i>C. capitata</i>	41,5 ± 10,56	114		9,27 b ± 3,63	14		*	*	47	*	*	12
<i>C. rosa</i>	52,47 ± 7,53	70		5,13 b ± 3,21	13		*	*	71	*	*	30
	P = 0,185			P = 7,24 x 10 ⁻⁸						P = 5,52 x 10 ⁻⁴		

Espèce	Taux d'éclosion											
	Mangue			Tomate			Goyave			Badamier		
	Moy. (%)	S.E.	n	Moy. (%)	S.E.	n	Moy. (%)	S.E.	n	Moy. (%)	S.E.	n
<i>N. cyaneus</i>	35,2 ± 16,39	75		30,2 ± 5,18	88		0,0 a ± 0,00	0		0,0 a ± 0,00	0	
<i>D. demmerezi</i>	34,27 ± 12,63	41		22,6 ± 7,15	10		0,0 a ± 0,00	0		0,0 a ± 0,00	0	
<i>B. cucurbitae</i>	28,28 ± 4,53	62		23,4 ± 15,90	9		0,0 a ± 0,00	0		1,1 a ± 0,64	5	
<i>B. zonata</i>	53,6 ± 14,94	90		23,3 ± 10,54	9		19,1 b ± 3,42	86		26,9 b ± 4,34	121	
<i>C. catovirii</i>	21,47 ± 13,15	69		46,7 ± 17,40	25		4,7 c ± 1,12	21		20,9 b ± 4,48	94	
<i>C. capitata</i>	64,02 ± 7,04	114		29,6 ± 10,81	14		10,5 c ± 4,17	47		2,7 c ± 0,98	12	
<i>C. rosa</i>	29,13 ± 7,47	70		17,3 ± 12,93	13		15,9 b ± 3,92	71		6,7 d ± 1,14	30	
	P = 0,185			P = 0,552			P = 8,06 x 10 ⁻¹²			P = 8,50 x 10 ⁻¹⁴		
										P = 7,93x 10 ⁻⁹		

Les moyennes (Moy.) sont suivies de l'erreur standard (S.E.).

Pour un fruit en particulier, une lettre (a, b, c, d) correspond à un groupe homogène de poids moyen de pupes. (ANOVA et test de Tukey, P<0.001) (H₀ : égalité des moyennes : P >= 0,05 contre H₁ : au moins une moyenne est différente : P < 0,05)

n = nombre d'échantillons participant à la moyenne

Figure 2 : Pourcentages moyens des durées de développement de chacun des stades immatures de chaque espèce dans chaque fruit

Stade	Nc				
	mangue	tomate	goyave	badamier	courgette
œuf *	11,96	13,87	0,00	0,00	13,54
larve	41,57	38,91	0,00	0,00	40,71
pupe	46,47	47,22	0,00	0,00	45,75

Stade	Dd				
	mangue	tomate	goyave	badamier	courgette
œuf *	7,61	7,00	0,00	0,00	9,27
larve	50,66	57,83	0,00	0,00	32,41
pupe	41,72	35,17	0,00	0,00	58,32

Stade	Bc				
	mangue	tomate	goyave	badamier	courgette
œuf *	6,04	6,72	0,00	6,65	8,32
larve	56,13	48,61	0,00	49,11	35,55
pupe	37,83	44,68	0,00	44,23	56,12

Stade	Bz				
	mangue	tomate	goyave	badamier	courgette
œuf *	9,5	9,0	8,5	9,6	9,2
larve	48,2	40,8	51,2	50,8	41,3
pupe	42,3	50,2	40,3	39,6	49,5

Stade	Ct				
	mangue	tomate	goyave	badamier	courgette
œuf *	9,4	9,1	7,7	9,2	8,9
larve	47,4	49,3	50,5	28,1	46,3
pupe	43,2	41,6	41,8	62,7	44,8

Stade	Cp				
	mangue	tomate	goyave	badamier	courgette
œuf *	8,8	9,6	7,8	8,8	7,5
larve	52,6	45,3	48,2	46,6	47,3
pupe	38,7	45,0	44,0	44,6	45,2

Stade	Cr				
	mangue	tomate	goyave	badamier	courgette
œuf *	8,8	9,1	8,2	9,2	8,4
larve	50,9	58,1	52,3	37,9	46,2
pupe	40,3	32,8	39,5	52,9	45,4

* les données pour le développement embryonnaire de chaque espèce sont issues de la littérature (Brévault & Quilici, 2000 ; Vayssières & Coubes, 1999a ; Vayssières & Coubes, 1999b ; Vayssières & Coubes, 1999c ; Duyck *et al.*, 2004 ; Duyck & Quilici, 2002)

Figure 3 : Moyennes des durées de développement larvaire, pupale et totale de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

a.

Espèce	Développement embryonnaire	Développement larvaire														
		Mangue			Tomate			Goyave			Badamier			Courgette		
		Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n
<i>N. cyanescens</i>	81,6	283,6 a	± 4,44	75	228,8 a	± 4,63	88	0.0 ± 0.00	0	0	0.0 ± 0.00	0	0	245,4 c	± 0,24	5
<i>D. demmerezzi</i>	45	299,5 a	± 6,05	41	371,8 b	± 41,43	10	0.0 ± 0,00	0	0	0.0 ± 0.00	0	0	157,4 b	± 2,18	103
<i>B. cucurbitae</i>	30	278,9 a	± 8,37	62	217,1 a	± 9,71	9	0.0 ± 0.00	0	0	221,4 a	± 27,19	5	128,1 a	± 0,56	85
<i>B. zonata</i>	49	249,8 b	± 6,38	90	222,4 a	± 21,44	9	294,3 a	± 2,07	86	259,7 a	± 4,37	121	221,0 c	± 0,00	2
<i>C. catoirii</i>	52	262,1 b	± 3,69	69	280,7 c	± 15,34	25	338,9 b	± 19,88	21	159,7 b	± 5,13	94	271,2 c	± 0,15	9
<i>C. capitata</i>	49	293,9 a	± 3,30	114	230,1 a	± 11,82	14	304,5 a	± 9,42	47	258,5 a	± 13,75	12	307,3 c	± 12,42	4
<i>C. rosa</i>	52	300,7 a	± 11,61	70	331,3 b	± 5,84	13	332,7 b	± 7,57	71	214,9 a	± 11,49	30	285,0 c	± 0,00	3

b.

Espèce	Développement pupal														
	Mangue			Tomate			Goyave			Badamier			Courgette		
	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n
<i>N. cyanescens</i>	317,1 c	± 2,73	75	277,7 b	± 3,37	88	0.0 ± 0.00	0	0	0.0 ± 0.00	0	0	275,8 b	± 13,80	5
<i>D. demmerezzi</i>	246,6 a	± 8,34	41	226,1 a	± 3,03	10	0.0 ± 0.00	0	0	0.0 ± 0.00	0	0	283,2 b	± 1,60	103
<i>B. cucurbitae</i>	188,0 b	± 5,33	62	199,6 a	± 16,53	9	0.0 ± 0.00	0	0	199,4 a	± 16,46	5	202,3 a	± 2,00	85
<i>B. zonata</i>	219,1 a	± 5,81	90	273,3 b	± 6,29	9	231,8 b	± 5,06	86	202,2 a	± 4,16	121	265,0 b	± 24,00	2
<i>C. catoirii</i>	238,4 a	± 4,61	69	237,2 a	± 18,85	25	280,5 a	± 10,40	21	355,7 b	± 4,87	94	262,0 b	± 0,00	9
<i>C. capitata</i>	216,1 a	± 8,45	114	228,8 a	± 10,70	14	278,3 a	± 9,20	47	247,3 a	± 20,87	12	293,5 b	± 12,50	4
<i>C. rosa</i>	238,1 a	± 5,98	70	187,1 a	± 11,90	13	251,0 b	± 5,44	71	299,7 c	± 11,05	30	280,0 b	± 63,00	3

Les moyennes (Moy.) sont suivies de l'erreur standard (S.E.).

Pour un fruit en particulier, une lettre (a, b, c, d) correspond à un groupe homogène de poids moyen de pupes. (ANOVA et test de Tukey, $P < 0.001$) (H_0 : égalité des moyennes : $P \geq 0,05$ contre H_1 : au moins une moyenne est différente : $P < 0,05$)

c.

Espèce	Total (durée de développement pré-imaginale post-embryonnaire: larve + pupe)														
	Mangue			Tomate			Goyave			Badamier			Courgette		
	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n	Moy. (h)	SE	n
<i>N. cyanescens</i>	600,7 a	± 4.29	75	506,6 a	± 3.75	88	0 ± 0.00	0	0	0 ± 0.00	0	0	521,2 c	± 13.70	5
<i>D. demmerezzi</i>	546,1 b	± 10.34	41	597,9 b	± 40.48	10	0 ± 0.00	0	0	0 ± 0.00	0	0	440,6 b	± 1.71	103
<i>B. cucurbitae</i>	466,8 c	± 9.86	62	416,7 c	± 13.90	9	0 ± 0.00	0	0	420,8 a	± 15.05	5	330,4 a	± 2.13	85
<i>B. zonata</i>	468,9 c	± 8.30	90	495,6 c	± 21.79	9	526,1 a	± 6.62	86	461,9 b	± 3.33	121	486,0 b	± 24.00	2
<i>C. catoirii</i>	500,5 d	± 4.67	69	518,0 a	± 7.55	25	619,4 b	± 24.94	21	515,5 c	± 3.28	94	533,2 c	± 0.15	9
<i>C. capitata</i>	509,9 d	± 8.93	114	458,9 c	± 2.65	14	582,8 c	± 12.71	47	505,8 c	± 20.06	12	600,8 c	± 0.25	4
<i>C. rosa</i>	538,9 b	± 11.43	70	518,4 a	± 12.84	13	583,7 b	± 9.72	71	514,6 c	± 5.49	30	565,0 c	± 63.00	3

n = nombre d'échantillons participant à la moyenne

Figure 4 : Poids moyens des pupes de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Espèce	Mangue			Tomate			Goyave			Badamier			Courgette		
	Moy. (10-4 g)	S.E.	n	Moy. (10-4 g)	S.E.	n	Moy. (10-4 g)	S.E.	n	Moy. (10-4 g)	S.E.	n	Moy. (10-4 g)	S.E.	n
<i>N. cyanescens</i>	83,0 b ± 2,49	75		103,9 b ± 2,35	88		0,0 ± 0,00	0		0,0 ± 0,00	0		128,2 a ± 26,23	5	
<i>D. demmerezi</i>	168,6 a ± 5,15	41		152,1 a ± 15,69	10		0,0 ± 0,00	0		0,0 ± 0,00	0		259,6 b ± 4,54	103	
<i>B. cucurbitae</i>	117,2 c ± 2,22	62		156,6 a ± 7,96	9		0,0 ± 0,00	0		103,6 a ± 15,22	5		168,4 c ± 2,53	85	
<i>B. zonata</i>	105,3 d ± 2,22	90		108,3 b ± 8,73	9		74,9 a ± 1,86	86		67,2 b ± 1,65	121		95,0 a ± 4,00	2	
<i>C. catoirii</i>	112,9 c ± 1,48	69		91,8 b ± 4,39	25		76,0 b ± 3,19	21		98,9 b ± 2,11	94		115,2 a ± 6,89	9	
<i>C. capitata</i>	84,1 b ± 1,33	114		79,2 b ± 4,39	14		56,2 a ± 2,28	47		74,3 a ± 9,20	12		76,3 a ± 11,26	4	
<i>C. rosa</i>	117,3 c ± 1,75	70		106,3 b ± 4,68	13		88,6 c ± 2,82	71		75,9 b ± 3,09	30		117,0 a ± 6,66	3	
	P = 2.2 x 10 ⁻¹⁶			P = 7,1 x 10 ⁻¹⁵			P = 4,3 x 10 ⁻¹⁵			P = 2.2 x 10 ⁻¹⁶			P = 2.2 x 10 ⁻¹⁶		

Les moyennes (Moy.) sont suivies de l'erreur standard (S.E.).

Pour un fruit en particulier, une lettre (a, b, c, d) correspond à un groupe homogène de poids moyen de pupes. (ANOVA et test de Tukey, P<0.001) (H₀ : égalité des moyennes : P >= 0,05 contre H₁ : au moins une moyenne est différente : P < 0,05)

n = nombre d'échantillons participant à la moyenne

Figure 5 : Nombre moyen de mâles et de femelles de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Nombre moyen de femelles de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Espèce	Mangue			Tomate			Goyave			Badamier			Courgette		
	Moy.	S.E.	n	Moy.	S.E.	n	Moy.	S.E.	n	Moy.	S.E.	n	Moy.	S.E.	n
<i>N. cyanescens</i>	5,50	± 3,05	75	6,80 a	± 1,01	88	0,00 a	± 0	0	0,00 a	± 0	0	0,67 a	± 0,33	5
<i>D. demmerezi</i>	3,17	± 1,45	41	1,00 b	± 0,45	10	0,00 a	± 0	0	0,00 a	± 0	0	8,50 b	± 3	103
<i>B. cucurbitae</i>	6,16	± 1,08	62	0,83 b	± 0,47	9	0,00 a	± 0	0	0,17 a	± 0,17	5	7,00 c	± 1,55	85
<i>B. zonata</i>	8,00	± 2,77	90	0,83 b	± 0,4	9	7,00 b	± 1,71	86	9,83 b	± 2,47	121	0,33 a	± 0,33	2
<i>C. catovirii</i>	6,67	± 4,06	69	2,67 c	± 1,38	25	2,00 c	± 0,45	21	8,83 b	± 2,41	94	0,67 a	± 0,21	9
<i>C. capitata</i>	7,50	± 2,74	114	0,67 b	± 0,42	14	4,17 c	± 1,19	47	1,00 a	± 0,37	12	0,50 a	± 0,22	4
<i>C. rosa</i>	6,00	± 1,95	70	0,50 b	± 0,34	13	8,00 b	± 2,05	71	3,33 c	± 0,67	30	0,33 a	± 0,33	3
	P = 0,898			P = 2,97 x 10 ⁻⁶			P = 3,85 x 10 ⁻⁶			P = 1,51 x 10 ⁻⁶			P = 3,25 x 10 ⁻⁵		

Nombre moyen de mâles de chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Espèce	Mangue			Tomate			Goyave			Badamier			Courgette		
	Moy.	S.E.	n	Moy.	S.E.	n	Moy.	S.E.	n	Moy.	S.E.	n	Moy.	S.E.	n
<i>N. cyanescens</i>	7,00	± 4,32	75	8,17	± 1,74	88	0 a	± 0	0	0 a	± 0	0	0,17 a	± 0,17	5
<i>D. demmerezi</i>	3,67	± 2,17	41	0,67	± 0,33	10	0 a	± 0	0	0 a	± 0	0	9,17 b	± 2,27	103
<i>B. cucurbitae</i>	4,17	± 1,87	62	0,67	± 0,49	9	0 a	± 0	0	0,67 a	± 0,49	5	7,33 b	± 1,99	85
<i>B. zonata</i>	7,00	± 2,77	90	0,67	± 0,4	9	7,33 b	± 1,71	86	10,33 b	± 2,47	121	0 a	± 0,33	2
<i>C. catovirii</i>	4,83	± 3,49	69	1,5	± 0,43	25	1,5 a	± 0,56	21	6,83 c	± 1,14	94	0,83 a	± 0,31	9
<i>C. capitata</i>	9,67	± 2,87	114	2,17	± 0,98	14	3,67 c	± 2,17	47	1 a	± 0,52	12	0,17 a	± 0,17	4
<i>C. rosa</i>	5,67	± 1,17	70	1,67	± 1,48	13	3,83 c	± 1,08	71	1,67 a	± 0,33	30	0 ⁰⁷ a	± 0,17	3
	P = 0,809			P = 5,37 x 10 ⁻⁵			P = 4,16 x 10 ⁻⁵			P = 2,67 x 10 ⁻⁸			P = 3,79 x 10 ⁻⁷		

Les moyennes (Moy.) sont suivies de l'erreur standard (S.E.).

Pour un fruit en particulier, une lettre (a, b, c, d) correspond à un groupe homogène de poids moyen de pupes. (ANOVA et test de Tukey, P<0.001) (H₀ : égalité des moyennes : P >= 0,05 contre H₁ : au moins une moyenne est différente : P < 0,05)

n = nombre d'échantillons participant à la moyenne

Table des figures et tableaux

Figure 1	Carte de localisation des équipes du Cirad dans le monde
Figure 2	Localisation des stations du Cirad sur l'île de La Réunion
Figure 3	Répartition des effectifs du Cirad de La Réunion
Figure 4	Le Pôle de Protection des Plantes
Figure 5	Plan du Pôle de Protection des Plantes
Figure 6	Chambre climatique d'élevage de Mouches des fruits
Figure 7	Situation géographique de l'île de La Réunion dans l'Océan Indien
Figure 8	Carte de l'île de La Réunion
Figure 9	Cycle de développement des Tephritidae
Figure 10	Éléments de morphologie des Tephritidae
Figure 11	Structure de l'ovipositeur chez les femelles de Tephritidae
Figure 12	Œufs de <i>Bactrocera zonata</i>
Figure 13	Larves de Tephritidae
Figure 14	Différences entre préférences alimentaires des larves et préférences d'oviposition de la femelle de <i>Papilio machaon</i>
Figure 15	Pupes de <i>B. cucurbitae</i>
Figure 16	Cages d'élevage de Tephritidae à l'intérieur d'une chambre climatique
Figure 17	Pondoir placé dans les cages d'élevage
Figure 18	Œufs de <i>N. cyanescens</i> étalés dans une boîte le 05/05/2009
Figure 19	Localisation des sites de collecte des fruits sur l'île de La Réunion
Figure 20	Calendrier d'organisation des expérimentations et séquence d'utilisation des fruits
Figure 21	Dispositif d'infestation des fruits
Figure 22	Boîte contenant la courgette de la 6 ^{ème} répétition de <i>N. cyanescens</i>
Figure 23	Boîte contenant les tomates de la 2 ^{ème} répétition de <i>D. demmerezi</i>
Figure 24	Plateau comportant les six répétitions pour <i>N. cyanescens</i> dans un fruit donné
Figure 25	Balance électronique utilisée pour la pesée des pupes
Figure 26	Plaque de 24 puits ayant contenu les pupes numérotées de 25 à 43 (issues de la 4 ^{ème} répétition pour de <i>N. cyanescens</i> dans la tomate)
Figure 27	Schéma récapitulatif des différents paramètres étudiés
Figure 28	Cercle des corrélations entre les variables utilisées pour l'ACP

Figure 29	Représentation graphique des corrélations entre variables avec l'ACM
Figure 30	Taux de survie larvaire et taux d'éclosion des différentes espèces de Tephritidae dans chaque fruit, avec les erreurs standard
Figure 31	Pourcentage représenté par chaque stade pré-imaginal dans la durée totale de développement des différentes espèces de Tephritidae sur chacun des fruits
Figure 32	Durées moyennes de développement post-embryonnaire pour chaque espèce de Tephritidae sur chaque fruit
Figure 33	Durée de développement post-embryonnaire des différentes espèces de Tephritidae sur chaque fruit
Figure 34	Poids pupal des différentes espèces de Tephritidae dans chaque fruit
Figure 35	Evolution de la densité de poids des pupes (10^{-4} g) pour chaque espèce de Tephritidae sur chaque fruit
Figure 36	Evolution du sexe ratio pour chaque espèce de Tephritidae sur chaque fruit

Tableau I	Superficies cultivées en 2006 sur l'île de La Réunion
Tableau II	Position systématique des Tephritidae
Tableau III	Les espèces de Tephritidae nuisibles à La Réunion
Tableau IV	Temps de développement des stades pré-imaginaux des espèces de Tephritidae étudiées à 25°C (en jours)
Tableau V	Composition des milieux artificiels utilisés pour les élevages de <i>C. rosa</i> , <i>C. catovirii</i> , <i>C. capitata</i> et <i>B. zonata</i>
Tableau VI	Spécificité des espèces de Tephritidae d'après les données de la littérature
Tableau VII	Origine géographique des différents fruits utilisés au cours de l'étude
Tableau VIII	Poids des fruits, nombre de fruits et de larves utilisés pour les expérimentations
Tableau IX	Paramètres étudiés et unités utilisées
Tableau X	Variables quantitatives utilisées pour l'ACP
Tableau XI	Etendues des classes utilisées pour l'ACM
Tableau XII:	Durées moyennes de développement post-embryonnaire pour chaque espèce de Tephritidae dans chaque fruit

Table des matières

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	3
1. LE CIRAD DANS LE MONDE	3
2. LE CIRAD A LA REUNION	4
3. LE POLE DE PROTECTION DES PLANTES.....	4
4. LE LABORATOIRE D'ECOLOGIE TERRESTRE ET DE LUTTE INTEGREE.....	5
CHAPITRE II. MEMOIRE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
1. L'ILE DE LA REUNION.....	6
1.1. Contexte géographique	6
1.2. Contexte agricole	7
2. LES MOUCHES DES FRUITS ET DES LEGUMES	8
2.1. Taxonomie.....	8
2.2. Les espèces de Tephritidae nuisibles à La Réunion.....	8
2.3. Eléments de biologie.....	9
3. RELATIONS INSECTE-PLANTE	12
3.1. Spécialisation alimentaire.....	12
3.2. Sélection de la plante hôte.....	13
4. DEVELOPPEMENT PRE-IMAGINAL DES TEPHRITIDAE	15
4.1. Le stade oeuf.....	15
4.2. Les stades larvaires.....	16
4.3. Le stade pupe.....	17
4.4. Durées du développement chez les espèces étudiées.....	18
5. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE	18
5.1. Objectifs de l'étude.....	18
5.2. Dispositif expérimental et méthodologie.....	19
CHAPITRE III. MEMOIRE DE STAGE.....	20
1. MATERIELS ET METHODES	20
1.1. Matériel biologique.....	20
1.2. Protocole expérimental.....	24
2. RESULTATS.....	30
2.1. Analyse descriptive des paramètres étudiés (ACP, ACM)	30
2.2. Analyse des paramètres étudiés pour chaque espèce de Tephritidae selon le fruit proposé.....	32
3. DISCUSSION	41
3.1. Spécialisation alimentaire.....	41
3.2. Sélection de la plante hôte.....	42
3.3. Taux de survie.....	43
3.4. Durée de développement	44
3.5. Poids des pupes	44
CHAPITRE IV. BILAN PERSONNEL.....	46
1. DIFFICULTES RENCONTREES.....	46
2. SI C'ETAIT A REFAIRE.....	46
3. COTE POSITIF	47
CONCLUSION	48
BIBLIOGRAPHIE.....	50
GLOSSAIRE.....	54

ANNEXES	55
<i>ANNEXE 1</i> ORGANIGRAMMES DU CIRAD	56
<i>ANNEXE 2</i> PRESENTATION DES ESPECES DE TEPHRITIDAE ETUDIEES.....	58
<i>ANNEXE 3</i> CLE PRATIQUE DE DETERMINATION DES MOUCHES DES FRUITS NUISIBLES A L'ILE DE LA REUNION.....	61
<i>ANNEXE 4</i> PRESENTATION DES ESPECES DE PLANTES ETUDIEES	63
<i>ANNEXE 5</i> TABLEAUX DE DONNEES.....	65
TABLE DES FIGURES.....	71
TABLE DES MATIERES	73
CONVENTION DE STAGE.....	75

Résumé :

Les Mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) sont les principaux ravageurs des cultures fruitières et maraîchères à l'île de La Réunion. Les relations entre ces insectes et leurs plantes-hôtes ont fait l'objet de nombreuses études, mais peu d'entre elles ont porté sur le développement larvaire dans différents fruits non hôtes. Les larves de certains insectes (Lepidoptera, Diptera) montrent en effet parfois des taux de survie élevés dans des fruits qui ne sont habituellement pas choisis comme hôtes par la femelle adulte. La présente étude s'intéresse au développement dans différents fruits des larves de sept espèces de Tephritidae nuisibles à l'île de La Réunion: trois espèces oligophages (*Neoceratitis cyanescens*, *Dacus demmerezi* et *Bactrocera cucurbitae*) et quatre polyphages (*Bactrocera zonata*, *Ceratitis capitata*, *Ceratitis catairii* et *Ceratitis rosa*). Les larves ont été inoculées dans cinq fruits-hôtes ou non-hôtes afin d'étudier la durée du développement, le taux de survie, le poids des pupes et le sexe ratio.

Les résultats montrent que la mangue est un fruit très apprécié des Tephritidae comme l'on déjà suggéré des études précédentes, même pour les espèces oligophages. Contrairement aux espèces oligophages, les espèces polyphages présentent peu de variations dans les caractéristiques étudiées. *Bactrocera cucurbitae* montre une tendance à la polyphagie, qui a également été constatée sur le terrain en Afrique de l'Ouest et en Asie. Des variations dans la durée de développement des larves et des pupes sur les différents fruits ont été mises en évidence au sein d'une même espèce. Enfin, on observe une relation négative entre la durée de développement larvaire et le poids des pupes.

Ces résultats contribuent à une meilleure connaissance des relations insecte-plante chez les Tephritidae nuisibles à La Réunion, et notamment de l'étendue de leur gamme de plantes-hôtes potentielles.

Mots-clefs : Tephritidae, relations insecte-plante, île de La Réunion, gamme de plantes-hôtes, fruit, développement larvaire et pupal

Abstract :

Fruit flies (Diptera : Tephritidae) are the most important pests on fruit and vegetable crops in La Réunion. Many studies have been conducted on the relationships between these insects and their host-plants, but few of them dealt with larval development in non-host fruits. Indeed the larvae of some phytophagous insect species sometimes show high survival rates on plant species that are not selected by the adult female. The present study focuses on the larval development in different fruits of seven tephritid species of La Réunion: three oligophagous species (*Neoceratitis cyanescens*, *Dacus demmerezi* and *Bactrocera cucurbitae*) and four polyphagous species (*Bactrocera zonata*, *Ceratitis capitata*, *Ceratitis catairii* and *Ceratitis rosa*). Larvae were introduced in five host or non-host fruits in order to study development duration, survival rate, pupal weight and sex ratio.

The results show that, even for the oligophagous species, mango is a favourable fruit for larval development of tephritids as previously observed in other studies. The polyphagous species show limited variations in the studied characteristics, compared to the oligophagous fruit flies. *Bactrocera cucurbitae* shows a polyphagous tendency, which confirms the results of field studies in West Africa and in Asia. Variations in larval and pupal duration on the different fruits were observed within a particular species. Finally, we showed a negative relationship between larval duration and pupal weight.

These results provide a better knowledge of insect-plant relationships for the Tephritidae species of La Réunion, especially with regard to the size of host-plant range.

Key words : Tephritidae, insect-plant relationship, La Réunion, host-plant range, fruit, larval and pupal development